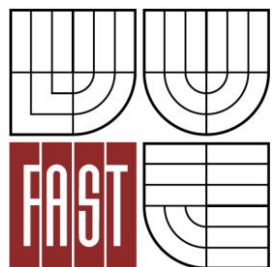




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## **ZASTŘEŠENÍ TRIBUNY NA STADIONU** THE ROOFING OF TERRACES OF A STADIUM

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

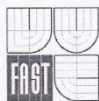
Radek Bartoň

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

Ing. JOSEF PUCHNER, CSc.

BRNO 2012

## ČÁST 1 :    TEXTOVÁ ČÁST



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program**

B3607 Stavební inženýrství

**Typ studijního programu**

Bakalářský studijní program s prezenční formou studia

**Studijní obor**

3647R013 Konstrukce a dopravní stavby

**Pracoviště**

Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student**

Radek Bartoň

**Název**

Zastřešení tribuny na stadionu

**Vedoucí bakalářské práce**

Ing. Josef Puchner, CSc.

**Datum zadání  
bakalářské práce**

30. 11. 2011

**Datum odevzdání  
bakalářské práce**

25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011

  
.....  
doc. Ing. Marcela Karmazinová, CSc.  
Vedoucí ústavu

  
.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

### **Podklady a literatura**

ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí-obecná zatížení

ČSN EN 1991-1-3 Zatížení konstrukcí - zatížení sněhem

ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí-zatížení větrem

ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí - obecná pravidla pro pozemní stavby

### **Zásady pro vypracování**

Navrhnete nosnou ocelovou konstrukci zastřešení tribuny pro sedící diváky na atletickém stadionu. Délka tribuny 80 m, šířka 12 m.

Součástí práce:

-technická zpráva

-statický výpočet

-přehledný výkres (sestava ocelové konstrukce)

-výkresy důležitých detailů

-výrobní výkres jednoho montážního dílce

### **Předepsané přílohy**

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....  
Ing. Josef Puchner, CSc.  
Vedoucí bakalářské práce

### **Abstrakt**

Mým úkolem bylo navrhnout a posoudit ocelovou konstrukci zastřešení tribuny na atletickém stadionu. Tribuna, s půdorysnými rozměry 12 x 80 m, je navržena jako železobetonová konstrukce a její statické posouzení není součástí práce.

Stavba je uvažována v lokalitě Rožnov pod Radhoštěm, což předem znamenalo značné zatížení klimatickými vlivy (sníh, vítr) a s tím spojené vyšší dimenze průřezů.

Navrženy a posouzeny byly všechny hlavní nosné prvky konstrukce a také vybrané spoje a detaily konstrukce. Výkresy, podle zadání práce, jsou zařazeny v přílohách práce.

### **Klíčová slova**

Ocelová konstrukce, zastřešení, tribuna, nosný systém, zatížení, proměnný průřez, vzpěrka, vaznice, pažník, kloub, vetknutí, čep, svar, šroub, ztužidlo, návrh, dimenzování, posouzení, mezní stavy, svislá deformace

### **Abstract**

My task was to propose and consider steel structure of roofing of a terraces on an athletic stadium. Terraces, with the ground-plan dimensions 12,0 x 80,0 m, are designed as a reinforced concrete structure and its structural analysis is not included in this thesis.

Construction is situated in area of Rožnov pod Radhoštěm, which meant, It had to be accounted with considerable variable loads (wind, snow), which is associated with enlargement of a cross-sections.

Cross sections of the main elements were proposed and considered and also selected joints and details of the structure. Assigned drawings are included in attachments of the thesis.

### **Keywords**

Steel structure, roofing, terraces, load-bearing system, load, variable cross section, strut, purlin, side runner, joint, restraint, pin, weld, bolt, bracing, proposal (design), dimensioning, examination, limit states, vertical deformation

...

### **Bibliografická citace VŠKP**

BARTOŇ, Radek. *Zastřešení tribuny na stadionu*. Brno, 2012. 119 s., 34 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Josef Puchner, CSc..

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25.5.2012

.....  
podpis autora  
Radek Bartoň

## **Poděkování**

**Rád bych poděkoval Ing. Josefu Puchnerovi, CSc. za odborné vedení mé bakalářské práce, čas, který mi věnoval, cenné rady, které mi poskytnul, trpělivost, kterou se mnou měl a to vše po celý průběh zpracovávání práce.**

.....  
**Radek Bartoň**



# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25.5.2012

.....  
podpis autora  
Radek Bartoň



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA STAVEBNÍ

## POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

**Vedoucí práce** Ing. Josef Puchner, CSc.

**Autor práce** Radek Bartoň

**Škola** Vysoké učení technické v Brně

**Fakulta** Stavební

**Ústav** Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

**Studijní obor** 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby

**Studijní program** B3607 Stavební inženýrství

**Název práce** Zastřešení tribuny na stadionu

**Název práce v anglickém jazyce** The Roofing of Terraces of a Stadium

**Typ práce** Bakalářská práce

**Přidělovaný titul** Bc.

**Jazyk práce** Čeština

**Datový formát elektronické verze** Pdf.

**Anotace práce** Mým úkolem bylo navrhnout a posoudit ocelovou konstrukci zastřešení tribuny na atletickém stadionu. Tribuna, s půdorysnými rozměry 12 x 80 m, je navržena jako železobetonová konstrukce a její statické posouzení není součástí práce. Stavba je uvažována v lokalitě Rožnov pod Radhoštěm, což předem znamenalo značné zatížení klimatickými vlivy (sníh, vítr) a s tím spojené vyšší dimenze průřezů. Navrženy a posouzeny byly všechny hlavní nosné prvky konstrukce a také vybrané spoje a detaily konstrukce. Výkresy, podle zadání práce, jsou zařazeny v přílohách práce.

**Anotace práce v anglickém jazyce** My task was to propose and consider steel structure of roofing of a terraces on an athletic stadium. Terraces, with the ground-plan dimensions 12,0 x 80,0 m, are designed as a reinforced concrete structure and its structural analysis is not included in this thesis. Construction is situated in area of Rožnov pod Radhoštěm, which meant, It had to be accounted with considerable variable loads (wind, snow), which is associated with enlargement of a cross-sections.

Cross sections of the main elements were proposed and considered and also selected joints and details of the structure. Assigned drawings are included in attachments of the thesis.

**Klíčová slova** Ocelová konstrukce, zastřešení, tribuna, nosný systém, zatížení, proměnný průřez, vzpěrka, vaznice, paždík, kloub, vetknutí, čep, svar, šroub, ztužidlo, návrh, dimenzování, posouzení, mezní stavy, svislá deformace

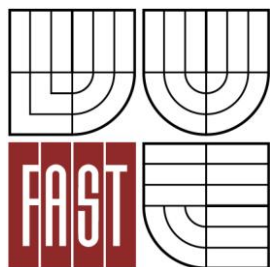
**Klíčová slova v anglickém jazyce** Steel structure, roofing, terraces, load-bearing system, load, variable cross section, strut, purlin, side runner, joint, restraint, pin, weld, bolt, bracing, proposal (design), dimensioning, examination, limit states, vertical deformation

OBSAH:

1. TEXTOVÁ ČÁST
2. STATICKÝ VÝPOČET KONSTRUKCE
3. PŘÍLOHY



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## ZASTŘEŠENÍ TRIBUNY NA STADIONU

THE ROOFING OF TERRACES OF A STADIUM

### ČÁST 2 : STATICKÝ VÝPOČET KONSTRUKCE

PART 2

STRUCTURAL ANALYSIS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

#### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radek Bartoň

#### VEDOUCÍ PRÁCE

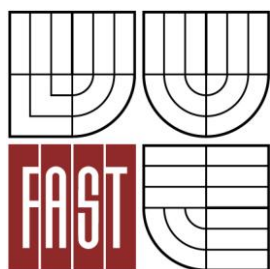
SUPERVISOR

Ing. JOSEF PUCHNER, CSc.

BRNO 2012



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## **Zastřešení tribuny na stadionu**

THE ROOFING OF TERRACES OF A STADIUM

### **ČÁST 2.1: TECHNICKÁ ZPRÁVA**

PART 2.1

TECHNICAL REPORT

### **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

#### **AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Radek Bartoň

#### **VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. JOSEF PUCHNER, CSc.

BRNO 2012

Obsah:

1. Obecné údaje	3
2. Normativní dokumenty	3
3. Popis nosné ocelové konstrukce	3
4. Materiál	4
5. Založení objektu	4
6. Výroba konstrukce	4
7. Doprava a montáž konstrukce	4-5
8. Povrchová ochrana	5
9. Ochrana stavby před škodlivými vlivy vnějšího prostředí	5
10. Bezpečnost a ochrana zdraví při práci	5
11. Způsob nakládání s odpady	6

## 1. Obecné údaje

Cílem práce je navrhnout nosnou konstrukci zastřešení tribuny na atletickém stadionu. Dle zadání práce má tribuna půdorysné rozměry ( $l \times b$ ) 80,0 x 12,0 m. Do těchto rozměrů byla navržena tribuna ze železobetonu, jejíž dispoziční řešení (viz schéma 1 a 2, příloha části 2) bylo navrženo na základě zásad obsažených v knize Neufert [1]. Tribuna je přístupná ze spodu, tzn. ze sportoviště, a také ze zadní strany dvěma přístupy. Přístup ze sportoviště lze v případě potřeby uzavřít zábradlím a oddělit tak sportoviště od diváků. Rozměry přístupových schodišť a také jejich umístění má co nejvíce usnadnit a hlavně urychlit pohyb diváků a to i při plném obsazení tribuny.

Plánované umístění stavby je v městě Rožnov pod Radhoštěm, což již předem slibuje velké zatížení sněhem a větrem. ŽB konstrukce tribuny je zasazena do terénního svahu.

K řešení byla vybrána varianta, která je uzavřena střešním pláštěm a působí tak uzavřeným dojmem a nenarušuje okolí žádnými vyčnívajícími částmi konstrukce (např. pylony). Zároveň je konstrukce zastřešení tvořena vykonzolovanými nosníky, bez jakýchkoli podpůrných prvků, které by bránily ve výhledu na sportoviště.

Pro statický výpočet konstrukce byl vytvořen model v programu Scia Engineer 2010.1 tak, aby co nejvíce odpovídal skutečnosti. Tento model byl použit na výpočet vnitřních sil a také hodnot přetvoření pro posouzení 2. mezního stavu konstrukce.

## 2. Normativní dokumenty

Zastřešení tribuny na atletickém stadionu bylo navrženo v souladu s těmito platnými normativními dokumenty:

ČSN EN 1990:	Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
ČSN EN 1991-1-1:	Eurokód 1:Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
ČSN EN 1991-1-3:	Eurokód 1:Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
ČSN EN 1991-1-4:	Eurokód 1:Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
ČSN EN 1993-1-1:	Eurokód 3:Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1993-1-8:	Eurokód 3:Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků

## 3. Popis nosné ocelové konstrukce

Půdorysné rozměry konstrukce zastřešení jsou  $XX \times YY$  m. Konstrukce zastřešení je tvořena celkem 11-ti příčnými vazbami, jejichž osová vzdálenost je 7,9 m. Sklon střešní roviny je 10 %.

Každá příčná vazba je tvořena hlavním nosníkem a podpůrným sloupem. Podpůrný sloup je navržen jako profil HEB220 z oceli S355. Sloup je ke konstrukci tribuny připojen vetknutím a kloubově k hlavnímu nosníku. Hlavní nosník byl navržen jako plnostěnný I-profil proměnného průřezu a se zakřivenou střednicí. Hlavní nosník je kloubově uchycený, jednak do ŽB konstrukce tribuny a pak také na podpůrný sloup, který zkracuje délku vyložení konzolové části nosníku. Kloubové uchycení je vytvořeno pomocí čepového spoje. Materiál hlavního nosníku je ocel S235 a to hlavně kvůli meznímu stavu použitelnosti, kde ocel 355 vychází při dodržení dovolených průhybů značně předdimenzovaná. V části hlavního nosníku, která působí jako konzola, je tlačný pás hlavního nosníku náchylný na ztrátu stability klopením. Z tohoto důvodu je spodní pás hlavního nosníku zajištěn vzpěrkami, trubky, profil ROR54/7,1 a materiál S235, které jsou připojeny na příčné výztuhy hlavního nosníku, plech tl. 10 mm, a také na vaznice, čímž mění statické schéma vaznice na vaznici vzpěrkovou. Hlavní nosník má šířku pásnice 280 mm a tloušťku 28 nebo 20 mm. Stojina má tloušťku 10 mm, až na oblast o celkové výšce hlavního nosníku 1200 mm, kde je z důvodu velkého smykového namáhání zvětšena tloušťka stojiny na 12 mm. Přenos zatížení na hlavní nosníky zajišťují vaznice, které jsou navrženy jako vzpěrkové, vzájemně spojené nad hlavními nosníky kloubovými spoji. Základní rozteč vaznic je 2,5 m. Profily vaznic jsou HEA240 a HEA160. Vaznice HEA160 je pokládána na hlavní nosníky a HEA240 je upravena tak, že je ji odříznuta spodní pásnice a stojina tak, aby byly horní plochy vaznic v jedné úrovni. S hlavním nosníkem jsou vaznice spojeny stoličkou z plechu tl. 8 mm a šroubovým spojem. Tento spoj je modelován jako kloubový. Rozdělení vaznic nad hlavními nosníky je provedeno pro usnadnění montáže vaznic. Na svislou část hlavního nosníku jsou napojeny paždíky, které lícují s vnější hranou hlavního nosníku. Profily paždíků jsou hranaté trubky VHP 180/200/220, S235. Paždíky jsou kloubově připojeny na hlavní nosník.

Konstrukce je ztužena jednak ve střešní rovině a to ztužidly tvořenými kruhovými trubkami ROR70/2,9, S235. Ztužidlo je připojeno na horní pás hlavního nosníku přes navařený plech, kloubový



spoj, a součástí ztužidla jsou také vaznice. Neuvažuje se s působením ztužidla v tlaku. Ztužení ve svislé rovině je provedeno ve dvou polích mezi podpůrnými sloupy a je napojeno na ztužení ve střešní rovině. Ztužidlo je tvořeno kruhovou trubkou ROR82,5/7,1 a s působením ztužidla v tlaku se opět neuvažuje. Ztužidlo je připojeno na patu a hlavu sloupu kloubovým spojem, tvořeným šroubovým spojem. Ztužení přenáší hlavně účinky zatížení podélným větrem a brání vodorovným deformacím.

Plášť konstrukce je tvořen trapézovým plechem, jehož vlny směřují kořmo na vaznice a paždíky. Tvar vln trapézového plechu bude zvolen na základě dohody s investorem a nutné únosnosti, jelikož tento prvek bude značně ovlivňovat vzhled konstrukce.

#### 4. Materiál

Nosná konstrukce je vyrobena z materiálů S235 (válcované i svařované profily) a S355 (válcované profily).

Šrouby jsou navrženy jako vysokopevnostní 8.8 (M27, M16). Kotevní šrouby jsou navrženy jako předem zabetonované šrouby s kotevní hlavou z oceli 11 523.1 (1.0570), M48.

Veškeré klempířské výrobky budou v provedení titan – zinek.

#### 5. Založení objektu

Nosná konstrukce zastřešení tribuny je napojena na ŽB konstrukci tribuny, v jejímž řešení se bude muset počítat s napojením veškerých prvků zastřešení a také s přenesením veškerých namáhání do základové půdy. Nejvyšší pozornost bude třeba věnovat napojení podpůrných sloupů, které, ve své patě, vyvolávají největší reakci na konstrukci tribuny. V této práci je tribuna navržena pouze dispozičně a statické posouzení není součástí této práce.

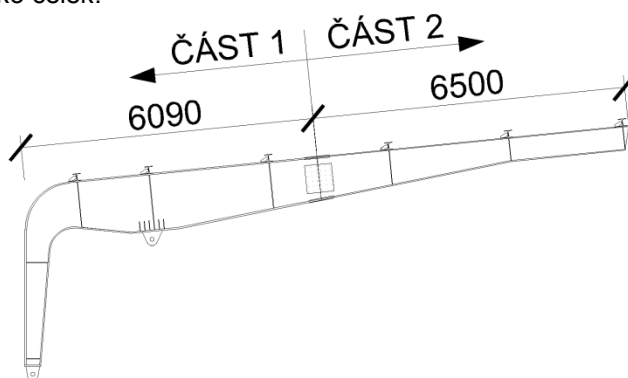
#### 6. Výroba konstrukce

Veškeré konstrukční prvky budou vyrobeny nebo připraveny pro vložení do konstrukce ve výrobním závodě v souladu s ČSN 1990-1 – Provádění ocelových konstrukcí. Dle této normy s konstrukce zařadí do odpovídající výrobní skupiny. Musí být dodrženy mezní úchytky rozměrů ocelových konstrukcí. Ve výrobním závodě budou veškeré prvky opatřeny kompletní antikorozní ochranou. Barva konstrukce bude zvolena po dohodě s investorem.

#### 7. Doprava a montáž konstrukce

Montáž konstrukce bude provedena podle montážní dokumentace (výkresu) a veškeré práce budou probíhat v souladu s ustanoveními bezpečnosti práce.

Pro dopravu budou rozhodující rozměry největšího dílce, kterým je hlavní nosník, který má zakřivenou. Proto je hlavní nosník rozdělen na dvě části, viz obr. 1 níže. Hlavní nosník je na staveništi smontován a vztyčen jako celek.



Obr. 1 Rozdělení hlavního nosníku

Dalším největším prvkem jsou vaznice HEA240, o délce 8,035 m. Tyto lze přepravit běžnou dopravou.

Montáž bude provedena pomocí autojeřábů. V průběhu výstavby bude třeba využít dočasného zavětrování konstrukce, jelikož vlastní tuhost konstrukce v podélném směru bude zajištěna až po osazení vaznic.

Na výrobu jsou kladeny požadavky dle ČSN EN 1990 – Zásady navrhování konstrukcí

## 8. Povrchová ochrana konstrukce

Ochrana všech částí ocelové konstrukce je zajištěna nátěrovým systémem podle stupně korozní agresivity (dle ČSN EN 9223) C3. Všechny nátěry a antikorozní ochrany musí být provedeny v souladu s platnými normami. Očekávaná životnost antikorozní ochrany je 10 - 15 let.

Povrch je upraven otrýskáním a opatřen třívrstevným nátěrovým systémem o celkové tloušťce minimálně 130 µm, nejlépe 150 µm. Nátěr se skládá ze základní antikorozní barvy, podkladní barvy a vrchního emailu. Po dokončení montáže musí být konstrukce důkladně zkontrolována a případné poruchy antikorozní ochrany musí být řádně opraveny.

Normy pro nátěrové ochrany:

- ČSN EN ISO 12944-1-8: Nátěrové hmoty – protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy
- ČSN ISO 8501-1-2: Příprava ocelových povrchů před nanášením nátěrových hmot a obdobných výrobků

Barevné řešení konstrukce bude upřesněno po dohodě s investorem.

Při návrhu a posouzení konstrukce nebylo uvažováno s požární odolností konstrukce.

## 9. Ochrana stavby před škodlivými vlivy vnějšího prostředí

Jedná se o objekt bez pobytových místností, který není uzavřený a lze tedy zaručit ochranu před radonovým zářením. Uvažovaná oblast stavby je stabilní a není třeba uvažovat vlivy podzemní vody, seismicitu, poddolování ani ochranná a bezpečnostní pásma.

## 10. Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

Při provádění veškerých stavebních prací musí být dodržovány požadavky stanovené vyhláškou ČÚBP č. 324/1990 a č. 207/1991 Sb. Stavebník je povinen zajistit podmínky pro splnění požadavků na bezpečnost práce osob na staveništi a to i osob nepatřících na staveniště.

Stavebník dále stanoví postup, souběh a návaznosti jednotlivých stavebních prací tak, jak mu to ukládá §4 vyhl. ČBÚB č. 324/1990 Sb. Pracovníci jsou povinni dodržovat především tato ustanovení:

§9	Povinnosti dodavatelů stavebních prací
§10	Povinnosti pracovníků
§13	Zajištění otvorů a jam
§14	Vertikální komunikace - žebříky
§15	Skladování - základní ustanovení
§16	Způsoby skladování
§18	Zajištění inženýrských sítí
§19	Zajištění výkopových prací
§20	Výkopové práce
§21	Manipulace s břemeny
§47	Práce ve výškách a nad volnou hloubkou - základní ustanovení
§48	Zajištění proti pádu
§50	Osobní zajištění
§51	Zajištění proti pádu předmětů a materiálu
§52	Zajištění pod místem práce ve výšce a jeho okolí
§57	Práce nad sebou
§60	Přerušení práce ve výškách
§71	Stroje a strojní zařízení - základní ustanovení
§72	Obsluha
§73	Provozní podmínky strojů
§75	Zakázané činnosti
§92	Práce související se stavební činností - manipulace
§99	Svařování

## 11. Způsob nakládání s odpady

Za veškeré odpady vzniklé v průběhu stavby zodpovídá stavebník, který je povinen při kolaudaci stavby doložit doklad o nakládání s odpady. Veškerý odpad je skladová, tříděn a odvážen buďto vlastními silami, nebo specializovanou firmou, která poté vystavuje potvrzení o nakládání s odpady. S odpady bude nakládáno operativně v průběhu stavby s ohledem na jejich momentální výskyt na

staveništi. Stavebník je povinen s odpady nakládat dle zákona č. 125/1997 Sb. a prováděcí vyhlášky MŽP ČR č. 338/1997 Sb.

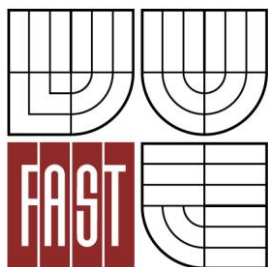
Při znečištění veřejné komunikace stavbou je stavebník povinen tyto komunikace vyčistit.

V Brně, 25.5.2012

Vypracoval: Radek Bartoň



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## ZASTŘEŠENÍ TRIBUNY NA STADIONU

THE ROOFING OF TERRACES OF A STADIUM

### ČÁST 2.2: STATICKÝ VÝPOČET

PART 2.2

STRUCTURAL ANALYSIS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

#### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radek Bartoň

#### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JOSEF PUCHNER, CSc.

BRNO 2012

Obsah:	str.
<b>1. POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ VARIANTY C</b>	<b>3-5</b>
1.1. GEOMETRIE KONSTRUKCE TRIBUNY	3
1.2. NÁVRH GEOMETRICKÉHO MODELU ZASTŘEŠENÍ	3-5
<b>2. ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE</b>	<b>6-15</b>
2.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ	6
2.2. OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ	6
2.3. ZATÍŽENÍ SNĚHEM	7
2.4. ZATÍŽENÍ VĚTREM	7-13
2.4.1. MAXIMÁLNÍ DYNAMICKÝ TLAK VĚTRU	7-9
2.4.2. PŘÍČNÝ VÍTR	10-12
2.4.3. PODÉLNÝ VÍTR, TŘENÍ	12-13
2.5. ZATĚŽOVACÍ STAVY	14
2.6. SKUPINY ZATÍŽENÍ	14
2.7. KOMBINACE ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ	14-15
<b>3. STATICKÝ VÝPOČET POMOCÍ PROGRAMU SCIA ENGINEER 2010.1</b>	<b>16</b>
<b>4. NÁVRH POSOUZENÍ JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ KONSTRUKCE</b>	<b>16-64</b>
4.1. VAZNICE	16-26
4.1.1. HEA240	
4.1.1.1. MSÚ	16-20
4.1.1.2. MSP	20
4.1.2. HEA160	
4.1.2.1. MSÚ	20-26
4.1.2.2. MSP	26
4.2. PAŽDÍKY	27-32
4.2.1. VHP220/220x10.0	
4.2.1.1. MSÚ	27-28
4.2.1.2. MSP	28
4.2.2. VHP200/200x6.0	
4.2.2.1. MSÚ	29-30
4.2.2.2. MSP	30
4.2.3. VHP180/180x6.0	
4.2.3.1. MSÚ	31-32
4.2.3.2. MSP	32
4.3. HLAVNÍ NOSNÍK (PŘÍČNÁ VAZBA)	34-58
4.3.1. POLE1 – MSÚ	34-37
4.3.2. POLE2 – MSÚ	38-41
4.3.3. POLE3 – MSÚ	42-45
4.3.4. POLE4 – MSÚ	46-50
4.3.5. POLE5 – MSÚ	50-54
4.3.6. POLE6 – MSÚ	55-58
4.3.7. MSP HLAVNÍHO NOSNÍKU	58
4.4. SLOUP HEB220	59-61
4.5. ZTUŽIDLA	62-63
4.5.1. ZTUŽIDLO MEZI SLOUPY	62-63
4.5.2. ZTUŽIDLO VE STŘEŠNÍ ROVINĚ	63
4.6. VZPĚRKY	64
<b>5. SEZNAM VYBRANÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK</b>	<b>65-67</b>
<b>6. SEZNAM ZDROJŮ</b>	<b>68</b>

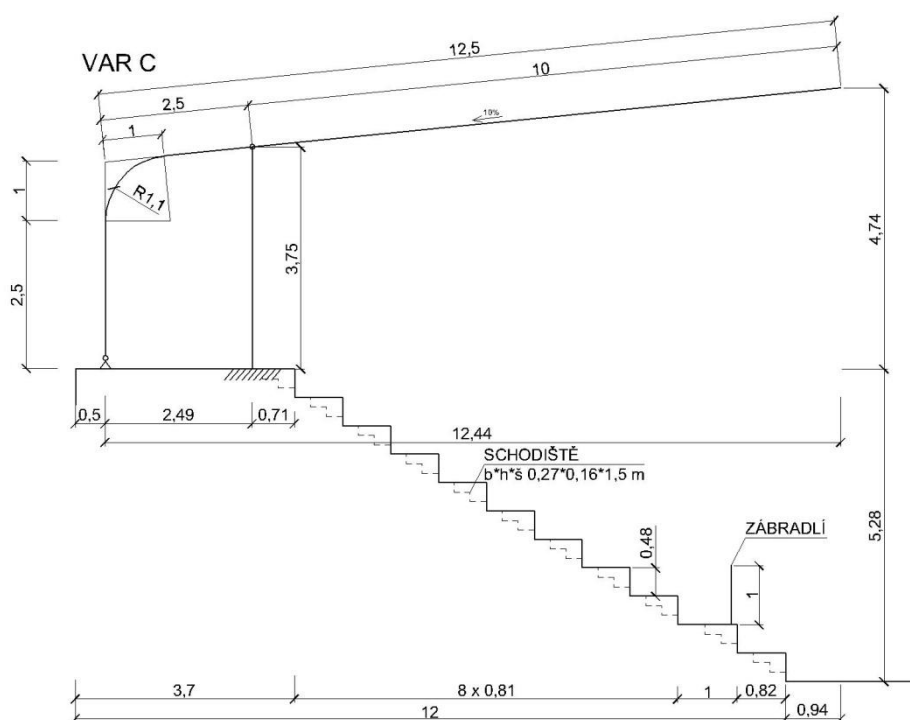
# 1. POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

## 1.1. GEOMETRIE KONSTRUKCE TRIBUNY

Dle zadání má tribuna vnější rozměry  $B \times L = 12,0 \times 80,0$  m. Podle pravidel pro návrh rozměrů tribuny pro sedící diváky, převzatých z knihy *Neufert* [1], byla navržena geometrie tribuny (viz schéma 1,2 a vizualizace 1 v příloze části 2). Tribuna je navržena jako tuhá železobetonová konstrukce zasazená do svahu upraveného terénu. Statické řešení, návrh ani posouzení této ŽB konstrukce není součástí této práce.

## 1.2. NÁVRH GEOMETRICKÉHO MODELU ZASTŘEŠENÍ

V závislosti na zadaných rozměrech a zvolené dispozici tribuny byly navrženy vzájemné rozteče hlavních nosníků 7,9 m, vyložení těchto nosníků 10 m za podpurný kloubově připojený sloup a základní rozteč vaznic 2,5 m. Sklon roviny zastřešení byl navržen min. 10 %. Střešní rovina je tvořena trapézovým plechem. Tribuna je ze zadní strany uzavřena, aby byli diváci alespoň částečně chráněni před povětrnostními podmínkami. Přístupná je pomocí dvou vstupů ze zadní strany tribuny a také z prostoru stadionu.



Obr. 1 Schéma geometrie hlavního nosníku varianty C

- Hlavní nosník  
Průřez hlavního nosníku je navržen jako svařovaný I profil s proměnnou výškou průřezu po délce. Tlačený dolní pás nosníku je zajištěn proti vybočení vzpěrkami připojenými k vaznici.

Hlavní nosník je připojen kloubově k ŽB konstrukci tribuny a také kloubově k podpurnému sloupu, který je vetknutý do ŽB konstrukce tribuny.

Navrhované a posuzované části hlavního nosníku:

- Proměnný průřez hlavního nosníku (řešený ve vybraných řezech)
- Připojení hl. nosníku k ŽB tribuně
- Připojení hl. nosníku ke sloupu

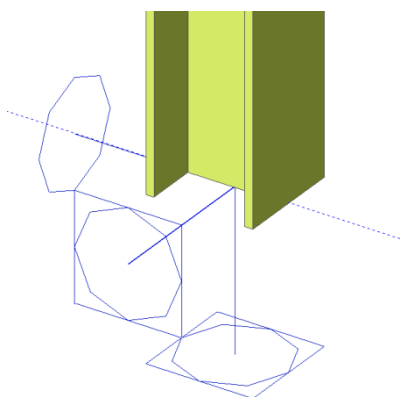
- Sloup

Tento sloup zkracuje vyložení hlavního nosníku a přemísťuje maximální ohybový moment nad připojení hlavního nosníku a sloupu. Díky kloubovému připojení je také tento sloup namáhán hlavně normálovou silou.

Profil sloupu je navržen jako válcovaný HEB profil, který je v rovině hlavního nosníku připojen k ŽB konstrukci tribuny vetknutím, ale kolmo na tuto rovinu je připojení uvažováno jako kloubové, kvůli relativně malé tuhosti připojení. V této rovině bude konstrukce zajištěna ztužidlem. Vzpěrné délky sloupu jsou tedy dány součiniteli  $k_y = 2,0$ ;  $k_z = 1,0$ ;  $k_w = 1,0$ .

Navrhované a posuzované části sloupu:

- Průřez sloupu
- Připojení sloupu k hl. nosníku
- Připojení sloupu k ŽB tribuně



Obr. 2 schéma upevnění sloupu do ŽB kce tribuny

- Paždíky

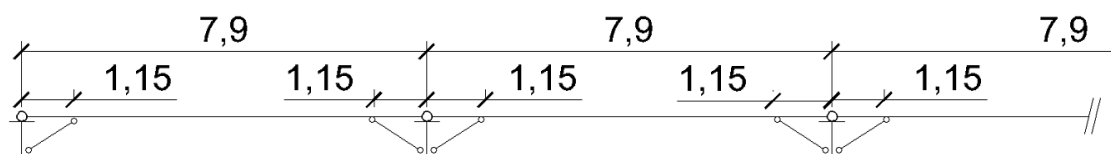
Paždíky jsou navrženy jako uzavřený průřez kloubově uchycený na hlavní nosníky. Je třeba u nich hlídat svislé a vodorovné deformace. Paždíky jsou navrženy jako válcované hranaté trubky VHP.

- Vaznice

Vaznice je řešena jako spojitá kloubová vaznice, která je navíc podepřena vzpěrkami, které zajišťují spodní pásnici hlavního nosníku proti vybočení klopením. Kloubové spojení je provedeno nad každým hlavním nosníkem. Vaznice je navržena jako válcovaný HEA profil o výšce 160 a 240 mm.

Navrhované a posuzované části vaznice:

- Průřez vaznice
- Šroubový spoj vaznic nad hlavním nosníkem



Obr. 3 Schéma spojitě kloubové vaznice doplněné vzpěrkami

- Větrové ztužidlo

Je navrženo ve dvou polích konstrukce. Svislé ztužení je provedené mezi sloupy v rovině kolmé na rovinu hlavních nosníků. Dále je ztužení provedeno ve střešní rovině (viz schéma). Profil ztužidla je navržen jako kruhová trubka pro ztužidlo mezi sloupy příčné vazby a plnostěnný kruhový profil, táhla, pro ztužidlo ve střešní rovině. Ztužidlo je vždy na obou koncích kloubově připojeno, a předpokládá se přenos pouze tahové síly.

Navrhované a posuzované části ztužidla:

- Průřez ztužidla
- Kloubové připojení ztužidla na hlavní nosnou konstrukci
- Křížení větví ztužidla

Pozn.: s působením ztužidla v tlaku se nepočítá, vzhledem k jeho vysoké štíhlosti.

- Vzpěrky

Jsou navrženy z důvodu zkrácení vzdálenosti inflexních bodů klopení tlačného dolního pásu hlavního nosníku. Mění také rozložení vnitřních sil ve vaznici. Jsou připojeny kloubově k vaznici a příčné výztuze hlavního nosníku. Profil této vzpěrky je navržen jako kruhová trubka.

Navrhované a posuzované části vzpěrky:

- Průřez vzpěrky
- Připojení vzpěrky na vaznici
- Připojení vzpěrky na hlavní nosník

- Střešní plášť – trapézový plech

Střešní plášť je navržen jako trapézový plech uložený na vaznice a dále sveden na hlavní nosník až k patě uložení hlavního nosníku na ŽB konstrukci tribuny. Chrání tak alespoň částečně diváky před povětrnostními podmínkami.

Únosnost trapézového plechu je kontrolována pomocí tabulek únosnosti výrobce.



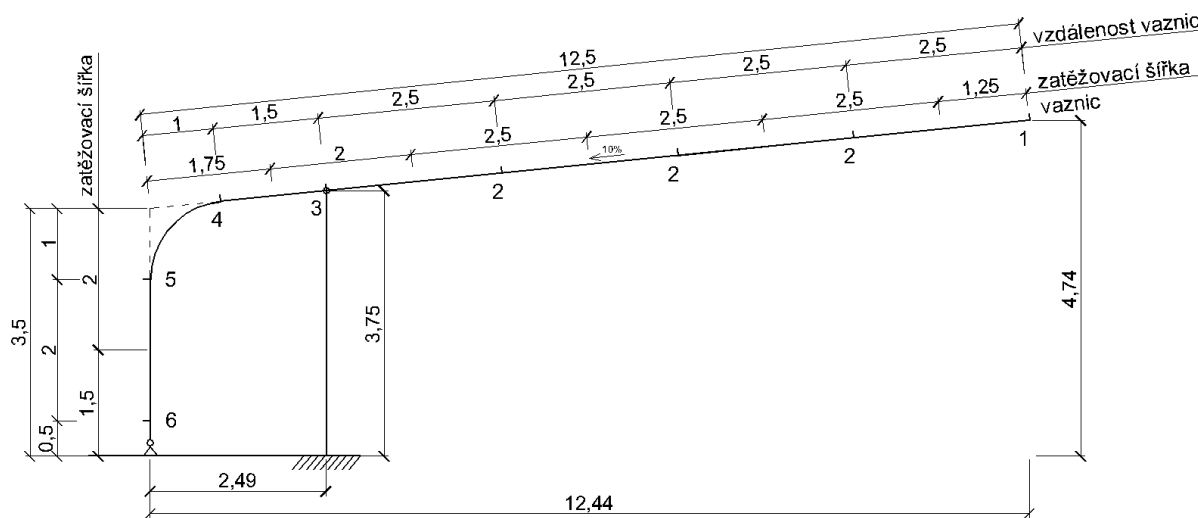
## 2. ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE

### 2.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ

Stálé zatížení je v programu Scia Engineer 2010.1, ve kterém je počítán statický výpočet konstrukce, řešen jako LC1, a vlastní hmotnost prvku se bere dle zvoleného průřezu automaticky.

### 2.2. OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

Jediným stálým zatížením, které není modelováno v programu Scia Engineer 2010.1 je tíha trapézového plechu, která je brána jako  $g_{1,k} = 0,15 \text{ kN/m}^2$ . Přepočítává se na spojitě zatížení na délku vaznice, dle zatěžovací šířky vaznice viz schéma.



Obr. 4 Schéma zatěžovacích šířek jednotlivých vaznic a paždíků

Tab. 1a Tabulka ostatního stálého zatížení pro jednotlivé vaznice

Zatížení dle polohy	Zatěžovací šířka [m]	Plošné zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]	Zatížení na délku vaznice [kN/m]
$g_{1,1,k}$	1,25	0,15	0,188
$g_{1,2,k}$	2,5		0,375
$g_{1,3,k}$	2,0		0,300
$g_{1,4,k}$	1,75		0,263

Tab. 1b Tabulka ostatního stálého zatížení pro jednotlivé paždíky

Zatížení dle polohy	Zatěžovací šířka [m]	Plošné zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]	Zatížení na délku vaznice [kN/m]
$g_{1,5,k}$	2,0	0,15	0,300
$g_{1,6,k}$	1,5		0,225

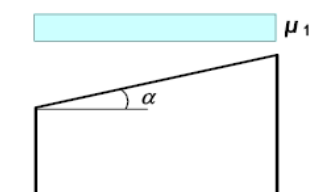
Ostatní stálé zatížení je v programu Scia Engineer 2010.1 zadáváno jako zatěžovací stav LC2, v hodnotách z tabulky 1a a 1b.

**2.3. ZATÍŽENÍ SNĚHEM**

- Místo stavby Rožnov pod Radhoštěm
- Sněhová oblast V.  $s = 2,5 \text{ kPa}$
- Součinitel expozice  $C_e = 1,0$
- Teplotní součinitel  $C_t = 1,0$
- Tvarový součinitel  $\mu_1 = 0,8$
- $\alpha = 10\% = 5,71^\circ$

úhel sklonu střechy $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha < 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
$\mu_2$	$0,8 + 0,8\alpha/30$	1,6	–

Tab. 2 hodnoty součinitele zatížení sněhem dle čsn en 1991

Obrázek 5.2  
Tvarový součinitel zatížení sněhem  
pultová střecha

$$s_k = s \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_1 = 2,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 2,0 \text{ kPa (kN/m}^2\text{)}$$

Tab. 3 Tabulka zatížení sněhem pro jednotlivé vaznice

Zatížení dle polohy	Zatěžovací šířka [m]	Plošné zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]	Zatížení na délku vaznice [kN/m]
$q_{s,1,k}$	1,25	2,0	2,5
$q_{s,2,k}$	2,5		5,0
$q_{s,3,k}$	2,0		4,0
$q_{s,4,k}$	1,75		3,5

Zatížení sněhem je v programu Scia Engineer 2010.1 zadáváno jako zatěžovací stav LC3, v hodnotách z tabulky 3.

**2.4. ZATÍŽENÍ VĚTREM****2.4.1. MAXIMÁLNÍ DYNAMICKÝ TLAK VĚTRU**

- Větrná oblast II  $v_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$
- Terén kategorie II  $z_0 = 0,05 \text{ m}$   
 $z_{\min} = 2,0 \text{ m}$
- Součinitel  $C_{dir}$   $C_{dir} = 1,0$
- Součinitel  $C_{season}$   $C_{season} = 1,0$

**Základní rychlost větru  $v_b$ :**

$$v_b = v_{b,0} \cdot C_{dir} \cdot C_{season} = 25,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 25,0 \text{ m/s}$$

**Součinitel drsnosti terénu  $C_r(z)$ :**

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19$$

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{4,74}{0,05}\right) = 0,865$$

### Součinitel orografie $C_o(z)$ :

Dle národní přílohy A.3 výpočet součinitelů orografie ČSN EN 1991

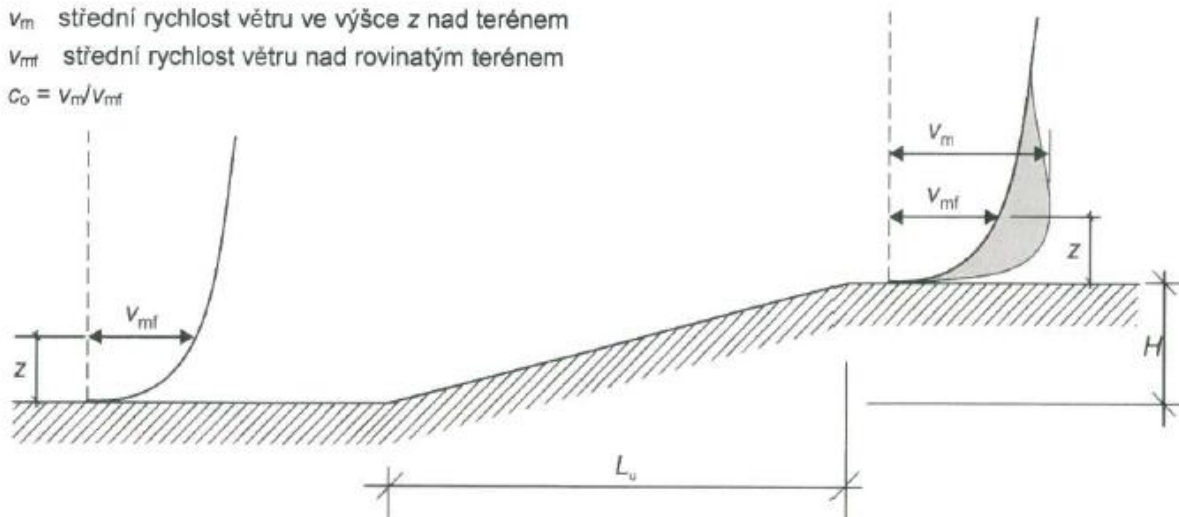
$$H = 5,3 \text{ m}$$

$$L_u = 12,0 \text{ m}$$

$v_m$  střední rychlost větru ve výšce  $z$  nad terénem

$v_{mf}$  střední rychlost větru nad rovinatým terénem

$$C_o = v_m / v_{mf}$$



Obr. 5 Zvýšení rychlosti větru způsobené orografií dle ČSN EN 1991

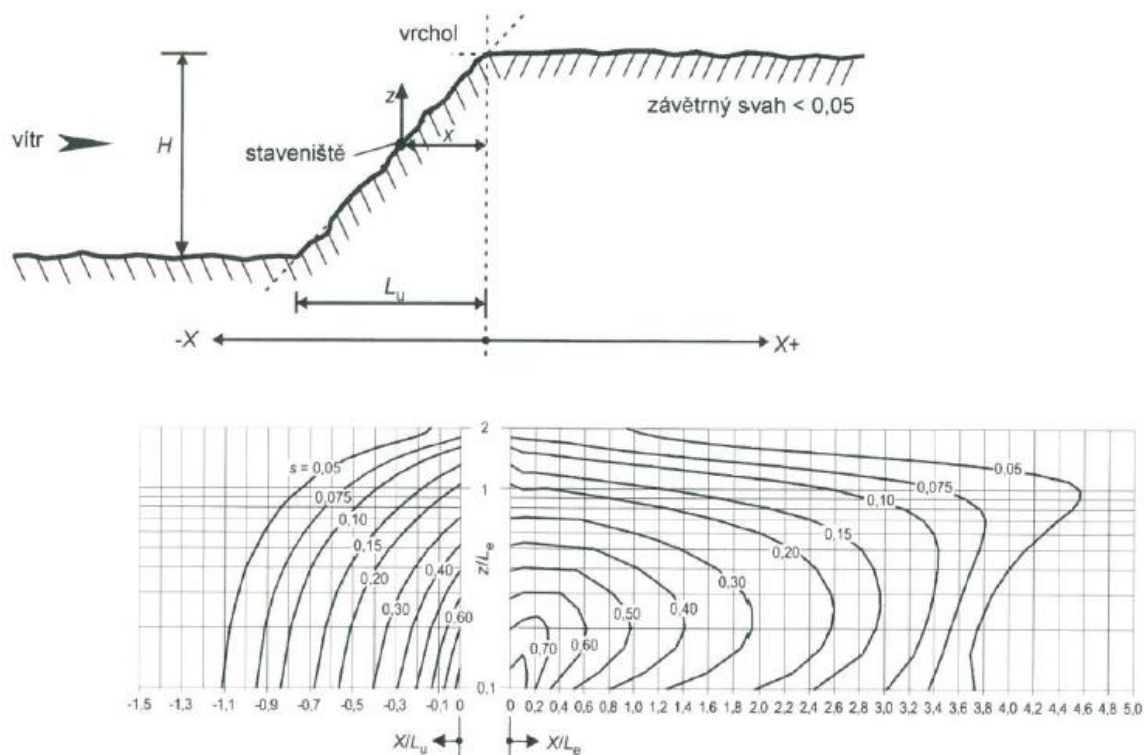
$$\Phi = H/L_u = 5,3/12,0 = 0,442$$

– Účinná délka  $L_e$  – strmý sklon svahu

Sklon ( $\Phi = H/L_u$ )	
Pozvolný ( $0,05 < \Phi < 0,3$ )	Strmý ( $\Phi > 0,3$ )
$L_e = L_u$	$L_e = H/0,3$

Tab. 4 Velikost účinné délky dle ČSN EN 1991

$$L_e = H/0,3 = 5,3/0,3 = 17,667 \text{ m}$$



Obr. 6 Stanovení součinitele umístění pro výpočet součinitele orografie dle národní přílohy A.3

ČSN EN 1991

$$X/L_e = 0/17,667 = 0,0$$

$$z/L_e = 4,74/17,667 = 0,268 \Rightarrow s=0,62$$

$$\text{pro } \Phi > 0,3 \Rightarrow C_o(z) = 1 + 0,6 \cdot s = 1 + 0,6 \cdot 0,62 = 1,372$$

**Střední rychlost větru  $v_m(z)$ :**

$$v_m(z) = C_r(z) \cdot C_o(z) \cdot v_b = 0,865 \cdot 1,372 \cdot 25 = 29,67 \text{ m/s}$$

**Turbulence větru  $I_v(z)$ :**

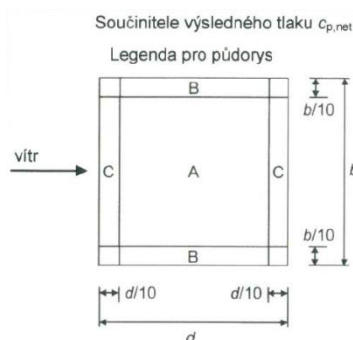
$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m} = \frac{k_I}{C_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1,372 \cdot \ln\left(\frac{4,74}{0,05}\right)} = 0,160$$

**Maximální dynamický tlak větru  $q_p(z)$ :**

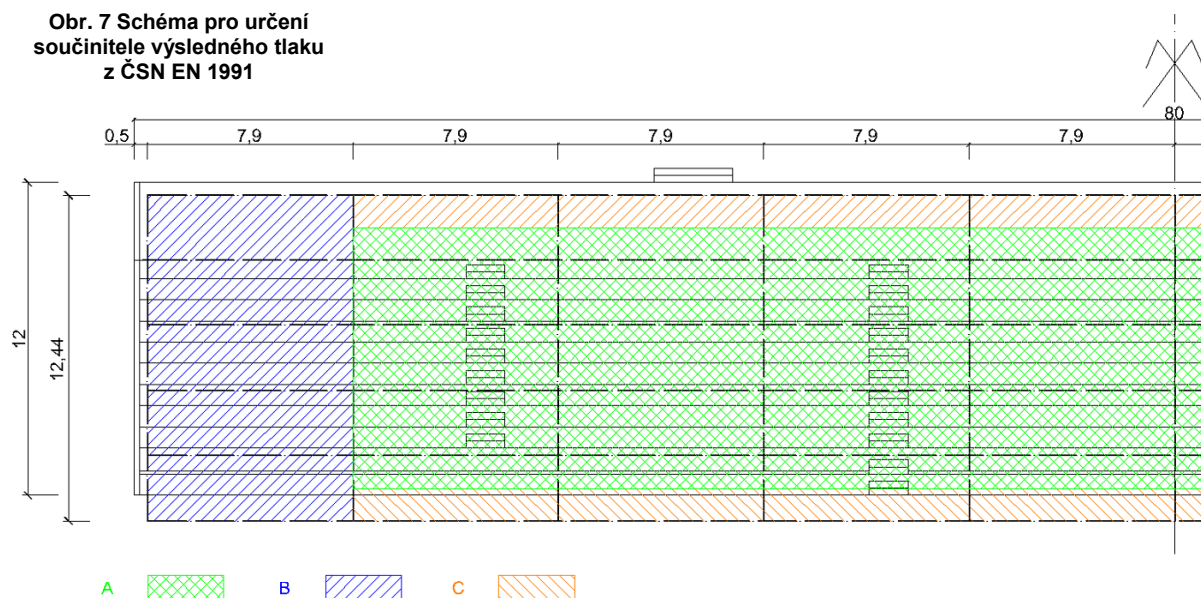
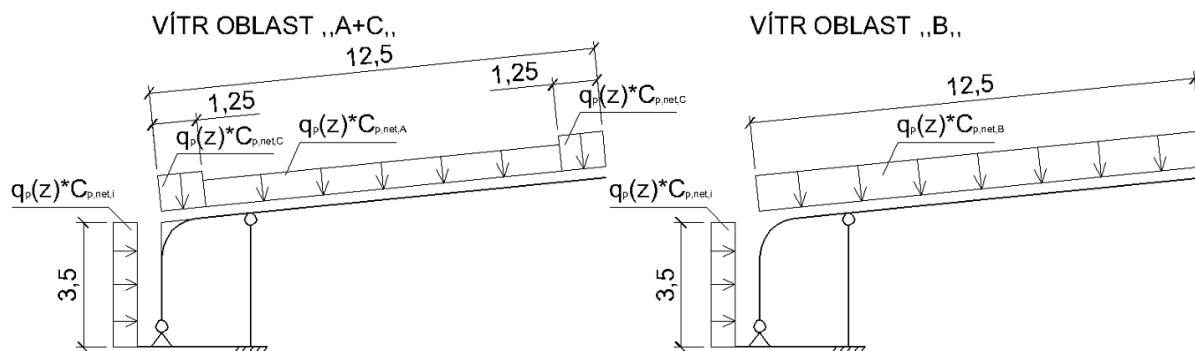
$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = (1 + 7 \cdot 0,16) \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 29,67^2 = 1,167 \text{ kPa}$$

**2.4.2. PŘÍČNÝ VÍTR**

- Referenční výška  $z_e = z = 4,74 \text{ m}$
- Zatížení větrem na střešní rovinu
  - Řešeno podle ČSN EN 1991 kapitola 7.3 přístřešky
  - Součinitel uzavřenosti přístřešku  $\varphi = 1,0$
  - Sklon střešní roviny  $\alpha = 10\% = 5,7106^\circ$
  - Maximální dynamický tlak větru  $q_p(z) = 1,167 \text{ kPa (kN/m}^2\text{)}$

**Tab. 5 Součinitele tlaku větru**

$\alpha [^\circ]$	-	$C_{p,net}$			$C_f$
		A	B	C	
5	max $\varphi$	+0,8	+2,1	+1,3	+0,4
	min $\varphi$	-1,6	-2,2	-2,5	-1,4
5,7106	max $\varphi$	<b>+0,857</b>	<b>+2,143</b>	<b>+1,343</b>	<b>+0,414</b>
	min $\varphi$	<b>-1,671</b>	<b>-2,257</b>	<b>-2,528</b>	<b>-1,4</b>
10	max $\varphi$	+1,2	+2,4	+1,6	+0,5
	min $\varphi$	-2,1	-2,6	-2,7	-1,4

**Obr. 7 Schéma pro určení součinitele výsledného tlaku z ČSN EN 1991****Obr. 8 Náčes oblastí pro použití součinitele výsledného tlaku****Obr. 9 Náčes rozdělení střešní roviny na oblasti A, B, C v příčném řezu**

Tab. 6 Tabulka spojitých zatížení od větru na jednotlivé vaznice

## A) Tlak větru na střešní rovinu

Označení zatížení dle polohy	Zatěž. šířka [m]	$q_p(z)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$C_{p,net}$ A	$C_{p,net}$ B	$C_{p,net}$ C	$q_{v,1,k,B}$ [kN/m]
$q_{v,1,k,B}$	1,25	1,167	-	2,143	-	<b>3,126</b>
$q_{v,1,k,C}$	1,25		-	-	1,343	<b>1,959</b>
$q_{v,2,k,A}$	2,5		0,857	-	-	<b>2,500</b>
$q_{v,2,k,B}$	2,5		-	2,143	-	<b>6,652</b>
$q_{v,3,k,A}$	2,0		0,857	-	-	<b>2,000</b>
$q_{v,3,k,B}$	2,0		-	2,143	-	<b>5,002</b>
$q_{v,4,k,A+C}$	0,5+1,25		0,857	-	1,343	<b>2,459</b>
$q_{v,4,k,B}$	1,75		-	2,143	-	<b>4,377</b>

## B) Sání větru na střešní rovinu

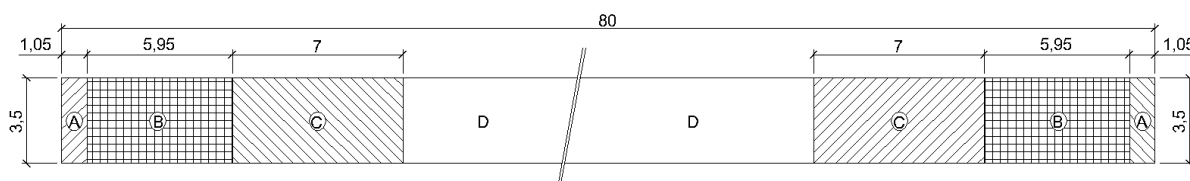
Označení zatížení dle polohy	Zatěž. šířka [m]	$q_p(z)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$C_{p,net}$ A	$C_{p,net}$ B	$C_{p,net}$ C	$q_{v,1,k,B}$ [kN/m]
$q_{v,1,k,B}$	1,25	1,167	-	-2,257	-	<b>-3,293</b>
$q_{v,1,k,C}$	1,25		-	-	-2,528	<b>-3,688</b>
$q_{v,2,k,A}$	2,5		-1,671	-	-	<b>-4,875</b>
$q_{v,2,k,B}$	2,5		-	-2,257	-	<b>-6,585</b>
$q_{v,3,k,A}$	2,0		-1,671	-	-	<b>-3,900</b>
$q_{v,3,k,B}$	2,0		-	-2,257	-	<b>-5,268</b>
$q_{v,4,k,A+C}$	0,5+1,25		-1,671	-	-2,528	<b>-4,663</b>
$q_{v,4,k,B+C}$	0,5+1,25		-	-2,257	-2,528	<b>-5,004</b>

Pozn.: Zatěžovací šířky a označení vaznic viz obr. 4

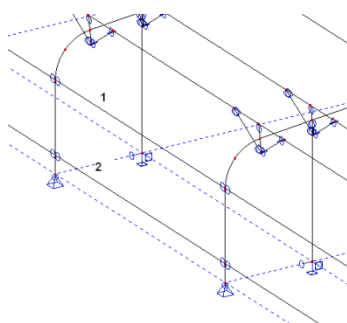
Zatížení větrem je v programu Scia Engineer 2010.1 zadáváno jako zatěžovací stav LC4 sání větru, LC5 tlak větru, v hodnotách z tabulek Tab. 6. Zatížení působí kolmo na střešní rovinu.

- Zatížení větrem na svislou část zastřešení

- Řešeno jako tlak na samostatně stojící stěnu, viz ČSN EN 1991-1-4
- $L=80\text{ m} > 4h$  ( $h=$
- $L/h > 10$
- Rozdělení oblastí viz Obr. 10



Obr. 10 Schéma oblastí účinků větru na stěnu



Obr.11 Schéma U profilů

Tab. 7 velikosti plošného zatížení od větru na svislou část zastřešení

	$q_p(z)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$C_{p,net}$	$q_{v,i}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
$q_{v,A}$	1,167	3,4	3,968
$q_{v,B}$		2,1	2,451
$q_{v,C}$		1,7	1,984
$q_{v,D}$		1,2	1,400

Zatížení větrem na svislou část zastřešení přenáší do hlavních nosníků v každém poli dva vodorovné U profily viz obrázek 11.

Ve dvou krajních polích dochází ke střetu více oblastí působení. Označení U profilu bude A,B, kde A značí umístění podle obr 11 a B

značí pole mezi hlavními nosníky, ve kterém se nachází, číslováno od okraje konstrukce s tím, že zatížení je symetrické podle roviny prostředního hlavního nosníku.

Tab. 8 Velikosti liniových zatížení na U profily v jednotlivých polích

Označení U-profilu	Zatěž. šířka [m]	Oblast	Poloha	Hodnota liniového zatížení v oblasti [kN/m]
1.1	2,0	A	0-1,05	±7,936
		B	1,05-7	±4,902
		C	7-7,9	±3,968
2.1	1,5	A	0-1,05	±5,952
		B	1,05-7	±3,677
		C	7-7,9	±2,976
1.2	2,0	C	0-6,1	±3,968
		D	6,1-7,9	±2,800
2.2	1,5	C	0-6,1	±2,976
		D	6,1-7,9	±2,100
1.3, 1.4, 1.5	2,0	D	0-7,9	±2,800
2.3, 2.4, 2.5	1,5	D	0-7,9	±2,100

Dané zatížení jsou součástí LC4 a LC5, jejich směr je volen tak, aby způsobovaly nejnepříznivější kombinaci se zatížením větrem na střešní rovinu.

#### 2.4.3. PODÉLNÝ VÍTR, TŘENÍ

Podélný vítr bude působit kolmo na rovinu hlavních nosníků a opírat se o plochu průřezu hlavního nosníku.

- Součinitel koncového efektu  $\Psi_\lambda = 1,0$
- Součinitel síly  $c_{f,0} = 2,0$  (dle NA.2.35.)

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_\lambda = 2,0 \cdot 1,0 = 2,0$$

Hodnota liniového zatížení na osu profilu hlavního nosníku:

$$W_{\text{podél, profil}} = q_p(z) \cdot c_f \cdot h = 1,167 \cdot 2,0 \cdot 1,0 = 2,334 \text{ kN/m}$$

h... průměrná výška hlavního nosníku

Hodnota liniového zatížení od větru na podpůrný sloup:

$$W_{\text{podél, sloup}} = q_p(z) \cdot c_f \cdot b = 1,167 \cdot 2,0 \cdot 0,22 = 0,514 \text{ kN/m}$$

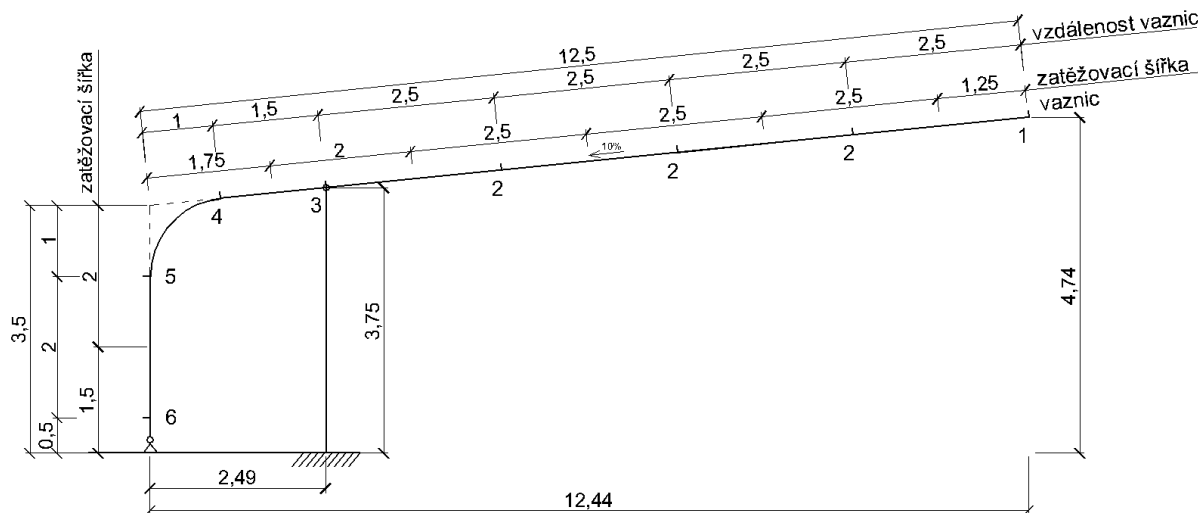
b... šířka profilu sloupu

Hodnota toho zatížení je brána pro jeden nosník a aplikována je na každý z hlavních nosníků a podpůrných sloupů, jelikož EC neřeší snížení účinků větru po délce konstrukce.

V programu Scia Engineer 2010.1 je tento zatěžovací stav označen jako LC6.

## TŘENÍ:

Je řešeno jako součást LC6. Aplikováno je jako spojitě vodorovné zatížení na jednotlivé vaznice o hodnotách viz. tabulka 9. Zatěžovací šířky viz. obr. 12.



Obr. 12 Schéma zatěžovacích šířek jednotlivých vaznic

Tab. 9 Hodnoty spojitého zatížení třením na jednotlivé vaznice

Označení vaznice	Zatěžovací šířka [m]	$q_p(z)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$C_{fr}$	$q_{v,i}$ [kN/m]
1	1,25	1,167	0,04	0,059
2	2,5			0,117
3	2,0			0,094
4	1,75			0,082
5	2,0			0,094
6	1,5			0,070

V programu Scia Engineer 2010.1 je zatížení třením zadáno spolu se zatížením podélným větrem v zatěžovacím stavu LC6.



## 2.5. ZATĚŽOVACÍ STAVY

Zatěžovací stavy jsou popsány pro výpočetní program Scia Engineer 2010.1, ve kterém bude prováděn výpočet vnitřních sil v konstrukci.

LC1	Vlastní hmotnost konstrukce (LG1)	$\gamma_G$	= 1,35 (1,0)
		$\zeta$	= 0,85
LC2	Ostatní stálé zatížení $g_{1,k}$ (LG1)	$\gamma_G$	= 1,35 (1,0)
		$\zeta$	= 0,85
LC3	Sníh (<1000 m. n. m.) (LG2)	$\gamma_Q$	= 1,50
		$\Psi_0$	= 0,50
LC4	Vítr příčný – tlak (LG3)	$\gamma_Q$	= 1,50
		$\Psi_0$	= 0,60
LC5	Vítr příčný – sání (LG3)	$\gamma_Q$	= 1,50
		$\Psi_0$	= 0,60
LC6	Vítr podélný (LG3)	$\gamma_Q$	= 1,50
		$\Psi_0$	= 0,60

## 2.6. SKUPINY ZATÍŽENÍ

Skupiny zatížení jsou popsány pro výpočetní program Scia Engineer 2010.1, ve kterém bude prováděn výpočet vnitřních sil v konstrukci.

LG1	Stálé zatížení	
LG2	Vztah:	Standard
	Zatížení:	Nahodilé
	EC1 – typ zatížení:	Sníh
LG3	Vztah:	Výběrová
	Zatížení:	Nahodilé
	EC1 – typ zatížení:	Vítr

## 2.7. KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Kombinace zatížení jsou popsány pro výpočetní program Scia Engineer 2010.1, ve kterém bude prováděn výpočet vnitřních sil v konstrukci.

CO0:	EN-MSÚ (STR/GEO) Sada B
	Kombinace na únosnost

Rozhodující kombinace na únosnost:

- Kombinace nejsou přímo obsaženy ve výstupu z programu Scia Engineer, jedná se pouze o přehled nejnepríznivějších kombinací, které mohou nastat. Všechny tyto kombinace jsou obsaženy ve výše uvedené CO0.

Kombinace soubor B: 6.10a

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Sníh  $\Psi_0=0,6$
- Vítr  $\Psi_0=0,5$

CO1:	1,35*(LC1+LC2)
CO2:	1,35*(LC1+LC2) + 1,5*0,5*LC3
CO3:	1,35*(LC1+LC2) + 1,5*0,5*LC3 + 1,5*0,6*LC4
CO4:	1,35*(LC1+LC2) + 1,5*0,5*LC3 + 1,5*0,6*LC6

$$\begin{aligned} \text{CO5:} & 1,35*(\text{LC1}+\text{LC2}) + 1,5*0,6*\text{LC4} \\ \text{CO6:} & 1,00*(\text{LC1}+\text{LC2}) + 1,5*0,6*\text{LC5} \\ \text{CO7:} & 1,35*(\text{LC1}+\text{LC2}) + 1,5*0,6*\text{LC6} \end{aligned}$$

Kombinace soubor B: 6.10b

$$\sum_{j \geq 1} \zeta \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Sníh  $\Psi_0=0,6$
- Vítr  $\Psi_0=0,5$

$$\begin{aligned} \text{CO8:} & 0,85*1,35*(\text{LC1}+\text{LC2}) \\ \text{CO9:} & 0,85*1,35*(\text{LC1}+\text{LC2}) + 1,5*\text{LC3} \\ \text{CO10:} & 0,85*1,35*(\text{LC1}+\text{LC2}) + 1,5*\text{LC3} + 1,5*0,6*\text{LC4} \\ \text{CO11:} & 0,85*1,35*(\text{LC1}+\text{LC2}) + 1,5*\text{LC4} + 1,5*0,5*\text{LC3} \\ \text{CO12:} & 0,85*1,35*(\text{LC1}+\text{LC2}) + 1,5*\text{LC4} \\ \text{CO13:} & 0,85*1,35*(\text{LC1}+\text{LC2}) + 1,5*\text{LC3} + 1,5*0,6*\text{LC6} \\ \text{CO14:} & 0,85*1,35*(\text{LC1}+\text{LC2}) + 1,5*\text{LC6} + 1,5*0,5*\text{LC3} \\ \text{CO15:} & 0,85*1,35*(\text{LC1}+\text{LC2}) + 1,5*\text{LC6} \\ \text{CO16:} & 0,85*1,35*(\text{LC1}+\text{LC2}) + 1,5*\text{LC3} + 1,5*0,6*\text{LC5} \\ \text{CO17:} & 0,85*1,35*(\text{LC1}+\text{LC2}) + 1,5*\text{LC5} + 1,5*0,5*\text{LC3} \\ \text{CO18:} & 1,00*(\text{LC1}+\text{LC2}) + 1,5*\text{LC5} \end{aligned}$$

Kombinace na mezní stav použitelnosti:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Sníh  $\Psi_0=0,6$
- Vítr  $\Psi_0=0,5$

CO19: EN-MPS charakteristické  
Kombinace pro mezní stav použitelnosti

### 3. STATICKÝ VÝPOČET POMOCÍ PROGRAMU SCIA ENGINEER 2010.1

Statický výpočet pro zjištění vnitřních sil v konstrukci a také deformací konstrukce a jejich jednotlivých částí je proveden v programu Scia Engineer 2010.1 ve studentské verzi tohoto programu. Veškeré výsledky jsou uvedeny v příloze části 2.

### 4. NÁVRH A POSOUZENÍ JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ KONSTRUKCE

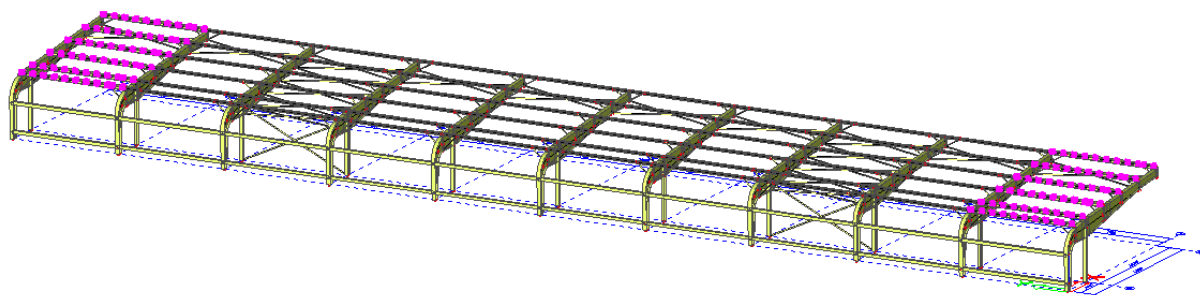
#### 4.1. VAZNICE

Materiálové vlastnosti:

Ocel S355 :

- mez kluzu  $f_y = 355$  MPa
- mez pevnosti  $f_u = 490$  MPa
- modul pružnosti  $E = 210\,000$  MPa
- modul pružnosti ve smyku  $G = 81\,000$  MPa
- objemová hmotnost  $\rho = 7850$  kg/m<sup>3</sup>
- poměr  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \varepsilon = 0,81$
- součinitele  $\gamma_{M0} = 1,00$   
 $\gamma_{M1} = 1,00$   
 $\gamma_{M2} = 1,25$

#### 4.1.1. KRAJNÍ POLE – HEA240



Obr. 13 poloha vaznic HEA240 ve výpočtovém modelu

#### 4.1.1.1. MSÚ

Největší namáhání v poli:

1:  $M_{y,max}$ : CO0/8

$N_{Ed} = -4,98$  kN

$M_{y,Ed} = 87,40$  kNm

$M_{z,Ed} = -4,99$  kNm

2:  $M_{z,max}$ : CO0/5

$N_{Ed} = -4,74$  kN

$M_{y,Ed} = 79,09$  kNm

$M_{z,Ed} = -7,30$  kNm

3:  $N_{max}$ : CO0/7

$N_{Ed} = -58,97$  kN

$M_{y,Ed} = 0,00$  kNm

$M_{z,Ed} = 0,00$  kNm

Maximální posouvající síla:

$V_{z,Ed} = \pm 52,00$  kN

Průřezové charakteristiky:

$$\begin{aligned}
 A &= 8680 \text{ mm}^2 \\
 I_y &= 7,760 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 & i_y &= 94,6 \text{ mm} & L_{cr,y} &= 7900 \text{ mm} \\
 I_z &= 2,770 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 & i_z &= 56,5 \text{ mm} & L_{cr,z} &= 7900 \text{ mm} \\
 I_t &= 4,160 \cdot 10^5 \text{ mm}^4 \\
 I_\omega &= 3,291 \cdot 10^{11} \text{ mm}^6 & i_0 &= 110,1 \text{ mm} \\
 W_{pl,y} &= 7,740 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \\
 W_{pl,z} &= 3,520 \cdot 10^5 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Zatřídění průřezu:

- Ohýbaný průřez stojina  
 $c/t \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$   
 $c/t = (230 - 2 \cdot 12)/8 = 25,75 \leq 58,32 \Rightarrow$  tř. 1  
 pásnice  
 $c/t \leq 10\varepsilon = 10 \cdot 0,81 = 8,1$   
 $c/t = (120 - 8/2 - 21)/12 = 7,92 \leq 8,1 \Rightarrow$  tř. 2

Průřez třídy 2.

**POSUDKY NA NAMÁHÁNÍ V POLI VAZNICE**• **Posouzení na rovinný vzpěr**

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,059$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = 1,094$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = 1,830$$

y-y => vzpěr. křivka b,  $\alpha=0,34$ 

$$\phi_y = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 1,250 \quad \chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0,539$$

z-z => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$ 

$$\phi_z = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 2,575 \quad \chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0,228$$

1,2:

$$N_{y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M0}} = 1660,875 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{4,98}{1660,875} = 0,003(0,3\%)$$

VYHOVÍ

$$N_{z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M0}} = 702,631 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}} = \frac{4,98}{702,631} = 0,007(0,7\%)$$

3:

VYHOVÍ

$$N_{y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M0}} = 1660,875 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{58,97}{1660,875} = 0,036(4\%)$$

VYHOVÍ

$$N_{z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M0}} = 702,631 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}} = \frac{58,97}{702,631} = 0,084(8,4\%)$$

• **Zkroucení**

$$L_{cr,T} = 7900 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 N_{cr,T} &= \frac{1}{i_0^2} \left( G I_t + \frac{\pi^2 E I_\omega}{L_{cr,T}^2} \right) = \frac{1}{110,1^2} (81000 \cdot 4,160 \cdot 10^5 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 3,291 \cdot 10^{11}}{7900^2}) \\
 &= \frac{1}{110,1^2} (3,370 \cdot 10^{10} + 1,093 \cdot 10^{10}) = 3678,526 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{f_y A}{N_{cr,T}}} = 0,915$$

kroucení => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$ 

$$\Phi_T = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2] = 1,094 \quad \chi_T = \frac{1}{\Phi_T + \sqrt{\Phi_T^2 - \lambda_T^2}} = 0,590$$

$$N_{T,Rd} = \frac{\chi_T A f_y}{\gamma_{M0}} = 1818,026 \text{ kN} \quad \underline{1,2}: \quad \frac{N_{Ed}}{N_{T,Rd}} = \frac{4,98}{1818,026} = 0,003 (0,3\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$\underline{3}: \quad \frac{N_{Ed}}{N_{T,Rd}} = \frac{58,97}{1818,026} = 0,033 (3,3\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

### • Posouzení na ohyb

Z-Z:

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{z,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,520 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 124,960 \text{ kNm}$$

$$1: \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{4,71}{124,960} = 0,038 (4\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$2: \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{7,30}{124,960} = 0,059 (6\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

y-y: vliv klopení

součinitel klopení

- dle NB.3.2, ČSN EN 1993-1-1

$$L = 7900 \text{ mm}$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$k_y = 1,0$$

$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0,0 \quad (\text{protože } I_{fc} = I_{ft})$$

$$z_j = 0,45 \psi_f h_f = 0,0$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 7900} \sqrt{\frac{210000 \cdot 3,291 \cdot 10^{11}}{81000 \cdot 4,160 \cdot 10^5}} = 0,5695$$

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 115}{1,0 \cdot 7900} \sqrt{\frac{210000 \cdot 2,770 \cdot 10^7}{81000 \cdot 4,160 \cdot 10^5}} = 0,601$$

$$z_g = z_a - z_s = 115 - 0 = 115 \text{ mm}$$

$$\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = 0,0 \quad (z_j = 0,0)$$

- z tabulky NB.3.2, ČSN EN 1993-1-1

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right] =$$

$$\frac{1,13}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 0,5695^2 + (0,46 \cdot 0,601 - 0,53 \cdot 0,0)^2} - (0,46 \cdot 0,601 - 0,0) \right] = 1,025$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 1,025 \frac{\pi \sqrt{210000 \cdot 2,770 \cdot 10^7 \cdot 81000 \cdot 4,160 \cdot 10^5}}{7900} =$$

$$= 180,472 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{f_y W_{y,pl}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{355 \cdot 7,440 \cdot 10^5}{180,472 \cdot 10^6}} = 1,210$$

Křivka klopení  $d \Rightarrow \alpha_{LT} = 0,76$

$$\Phi_{LT} = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 1,615$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,372$$

$$M_{el,y,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{y,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,372 \cdot 7,440 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 98,330 \text{ kNm}$$

$$1: \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{87,40}{98,330} = 0,889 \text{ (89\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$2: \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{79,09}{98,330} = 0,804 \text{ (80\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

### • Kombinace namáhání momenty a normálovou silou

Interakční součinitele dle přílohy B – metoda 2

Pro kombinaci 1:

$$C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 0,95 + 0,05\alpha_h = 0,95 + 0,0 = 0,95$$

$$k_{yy} = 0,95$$

$$k_{yz} = 0,95$$

$$k_{zy} = 1,00$$

$$k_{zz} = 0,95$$

Podmínky:

1:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$0,003 + 0,95 \cdot 0,891 + 0,95 \cdot 0,038 \leq 1,0$$

$$0,886 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$0,007 + 1,0 \cdot 0,891 + 0,95 \cdot 0,038 \leq 1,0$$

$$0,934 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

### • Posouzení na posouvající sílu

$$A_v \leq \eta h_w t_w = 1,0 \cdot 206 \cdot 8 = 1648 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 1648 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{1648 \left( \frac{355}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 337,773 \text{ kNm}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{52,0}{337,773} = 0,154 \text{ (16\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

< 50% nesnižuje  $M_{Rd}$

Pozn.:  $V_{Ed} = V_{Ed,max}$

Navržený profil HEA240 vyhoví na návrhové namáhání. Rozhodující pro únosnost je kombinace vnitřních sil 1 v poli vaznice.

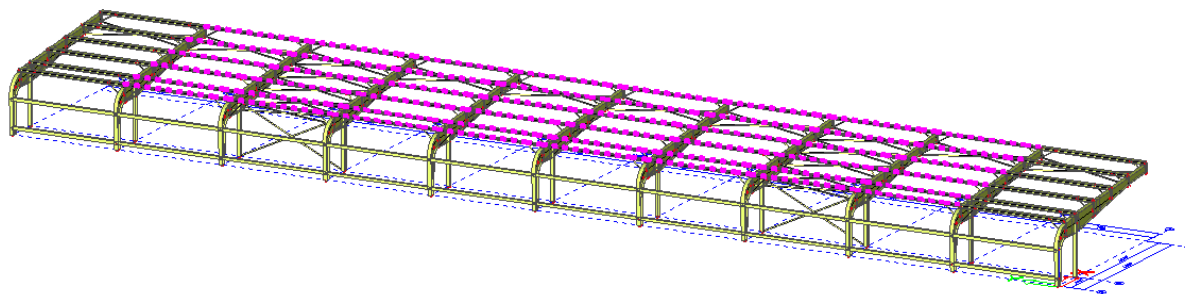
#### 4.1.1.2. MSP

Mezní průhyb vaznice HEA240 je podle výpočtu z programu Scia Engineer 2010.1:

$$\delta < 20 \text{ mm} < L/200 = 7900/200 = 39,5 \text{ mm}$$

Průřez vaznice HEA240 vyhoví na mezní stav použitelnosti.

#### 4.1.2. OSTATNÍ VAZNICE – HEA160



Obr. 14 poloha vaznic HEA160 ve výpočtovém modelu

#### 4.1.2.1. MSÚ

##### POSOUZENÍ VAZNICE V POLI

$$1: M_{y,max} = M_{z,max} \cdot CO0/18$$

$$2: N_{max} (CO0/21)$$

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -2,75 \text{ kN} \\ M_{y,Ed} &= 18,82 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= -6,64 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -30,64 \text{ kN} \\ M_{y,Ed} &= -5,68 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= -0,23 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maximální posouvající síla:

$$V_{z,Ed} = \pm 35,96 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky:

$$\begin{aligned} A &= 3880 \text{ mm}^2 \\ I_y &= 1,670 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 & i_y &= 65,6 \text{ mm} & L_{cr,y} &= 7900 \text{ mm} \\ I_z &= 6,160 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 & i_z &= 39,8 \text{ mm} & L_{cr,z} &= 7900 \text{ mm} \\ I_t &= 1,220 \cdot 10^5 \text{ mm}^4 \\ I_\omega &= 3,149 \cdot 10^{10} \text{ mm}^6 & i_0 &= 76,8 \text{ mm} \\ W_{pl,y} &= 2,460 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \\ W_{pl,z} &= 1,180 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Zatřídění průřezu:

- Ohýbaný průřez stojina

$$\begin{aligned} c/t &\leq 72\varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32 \\ c/t &= (152 - 2 \cdot 9)/6 = 22,33 \leq 58,32 \Rightarrow \text{tř. 1} \end{aligned}$$

pásnice

$$\begin{aligned} c/t &\leq 14\varepsilon = 14 \cdot 0,81 = 11,34 \\ c/t &= (80 - 6/2 - 15)/9 = 6,888 \leq 7,29 \Rightarrow \text{tř. 1} \end{aligned}$$

Průřez třídy 1.

- Posouzení na rovinný vzpěr**

$$\lambda_1 = 93,9\epsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,059$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = 1,576$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = 2,595$$

y-y => vzpěr. křivka b,  $\alpha=0,34$

$$\Phi_y = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 1,976 \quad \chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0,316$$

z-z => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$

$$\Phi_z = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 4,454 \quad \chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0,124$$

1:

$$N_{y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M0}} = 435,258 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{2,75}{435,258} = 0,007 (0,7\%)$$

VYHOVÍ

$$N_{z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M0}} = 170,797 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}} = \frac{2,75}{170,797} = 0,016 (1,6\%)$$

VYHOVÍ

2:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{30,64}{435,258} = 0,071 (7\%)$$

VYHOVÍ

$$\frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}} = \frac{30,64}{170,797} = 0,180 (18\%)$$

VYHOVÍ

- Zkroucení**

$$L_{cr,T} = 7900 \text{ mm}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left( G I_t + \frac{\pi^2 E I_\omega}{L_{cr,T}^2} \right) = \frac{1}{76,8^2} (81000 \cdot 1,220 \cdot 10^5 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 3,149 \cdot 10^{10}}{7900^2})$$

$$= \frac{1}{76,8^2} (9,882 \cdot 10^9 + 1,046 \cdot 10^9) = 1854,76 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{f_y A}{N_{cr,T}}} = 0,862$$

kroucení => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$

$$\Phi_T = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2] = 1,033 \quad \chi_T = \frac{1}{\Phi_T + \sqrt{\Phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = 0,623$$

$$N_{T,Rd} = \frac{\chi_T A f_y}{\gamma_{M0}} = 858,120 \text{ kN}$$

$$1: \quad \frac{N_{Ed}}{N_{T,Rd}} = \frac{2,75}{858,120} = 0,004 (0,4\%)$$

VYHOVÍ

$$2: \quad \frac{N_{Ed}}{N_{T,Rd}} = \frac{30,64}{858,120} = 0,036 (4\%)$$

VYHOVÍ

Únosnost v tlaku profilu vaznice HEA160 je  $N_{z,Rd} = 170,587 \text{ kN}$ .

- Posouzení na ohyb**

Z-Z:

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{z,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,180 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 41,890 \text{ kNm}$$

$$1: \quad \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{6,64}{41,890} = 0,16 (16\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$2: \quad \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{0,23}{41,890} = 0,006 (0,6\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$



y-y: klopení

součinitel klopení

- dle NB.3.2, ČSN EN 1993-1-1

$$L = 7900 \text{ mm}$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$k_y = 1,0$$

$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0,0 \text{ (protože } I_{fc} = I_{ft})$$

$$z_j = 0,45 \psi_f h_f = 0,0$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 7900} \sqrt{\frac{210000 \cdot 3,149 \cdot 10^{10}}{81000 \cdot 1,220 \cdot 10^5}} = 0,325$$

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 76}{1,0 \cdot 7900} \sqrt{\frac{210000 \cdot 6,160 \cdot 10^6}{81000 \cdot 1,220 \cdot 10^5}} = 0,346$$

$$z_g = z_a - z_s = 76 - 0 = 76 \text{ mm}$$

$$\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = 0,0 \text{ (} z_j = 0,0 \text{)}$$

- z tabulky NB.3.2, ČSN EN 1993-1-1

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right] = \\ &= \frac{1,13}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 0,325^2 + (0,46 \cdot 0,346 - 0,53 \cdot 0,0)^2} - (0,46 \cdot 0,346 - 0,0) \right] = 1,022 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 1,022 \frac{\pi \sqrt{210000 \cdot 6,160 \cdot 10^6 \cdot 81000 \cdot 1,220 \cdot 10^5}}{7900} = \\ &= 45,954 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{f_y W_{y,pl}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{355 \cdot 2,460 \cdot 10^5}{45,954 \cdot 10^6}} = 1,379$$

Křivka klopení d =>  $\alpha_{LT} = 0,76$ 

$$\Phi_{LT} = \frac{1}{2} [1 + \alpha (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 1,898$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,312$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{y,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,312 \cdot 2,460 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 27,268 \text{ kNm}$$

$$1: \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{18,82}{27,268} = 0,691 \text{ (69\%)} \text{ VYHOVÍ}$$

- Kombinace normálové síly a ohybového momentu**

1:

Pro průřezy musí být splněna podmínka:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{2,75}{170,797} = 0,016 \quad 5n = 0,016 \cdot 5 = 0,081 < 1 \Rightarrow 1,0$$

$$a = (A - 2bt_f)/A = (3880 - 2 \cdot 160 \cdot 9)/3880 = 0,258$$

$$M_{y,N,Rd} = M_{y,pl,Rd} (1 - n)/(1 - 0,5a) = M_{y,pl,Rd} (1 - 0,016)/(1 - 0,5 \cdot 0,258) = 1,130 M_{y,pl,Rd} > 1,0 \Rightarrow M_{y,pl,Rd} = M_{y,N,Rd}$$

$$n < a: M_{z,pl,Rd} = M_{z,N,Rd}$$

$$M_{N,y,Rd} = 27,268 \text{ kNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = 41,890 \text{ kNm}$$

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^{5n} \leq 1,0$$

$$\left[ \frac{18,82}{27,268} \right]^2 + \left[ \frac{6,64}{41,890} \right]^{1,0} \leq 1,0$$

$$0,48 + 0,16 \leq 1,0$$

$$0,64 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

**POSOUZENÍ VAZNICE V OBLASTI VZPĚRKY**

Namáhání v oblasti vzpěrky:

1:  $M_{y,max}$ : CO0/18

$$N_{Ed} = 73,84 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -34,42 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -3,31 \text{ kNm}$$

2:  $N_{max}$ : CO0/1

$$N_{Ed} = -59,52 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 15,23 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -0,09 \text{ kNm}$$

Maximální posouvající síla:

$$V_{z,Ed} = \pm 35,96 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky:

$$A = 3880 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 1,670 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 6,160 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_t = 1,220 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$I_\omega = 3,149 \cdot 10^{10} \text{ mm}^6$$

$$W_{pl,y} = 2,460 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 1,180 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 65,6 \text{ mm} \quad L_{cr,y} = 1150 \text{ mm}$$

$$i_z = 39,8 \text{ mm} \quad L_{cr,z} = 1150 \text{ mm}$$

$$i_0 = 76,8 \text{ mm}$$

Zatřídění průřezu:

Viz v poli výše – třída 1

• **Posouzení na rovinný vzpěr**

$$\lambda_1 = 93,9\epsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,059$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = 0,229$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = 0,378$$

y-y => vzpěr. křivka b,  $\alpha = 0,34$ 

$$\Phi_y = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,531 \quad \chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0,990$$

z-z => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$ 

$$\Phi_z = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,615 \quad \chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0,909$$

1: Tah je přenesen, není ovlivněn vzpěrem

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = 1377,400 \text{ kN} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{73,84}{1377,400} = 0,054 (5,4\%)$$

VYHOVÍ

2:

$$N_{y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M0}} = 1363,626 \text{ kN} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{59,52}{1363,626} = 0,044 (4,4\%)$$

VYHOVÍ

$$N_{z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M0}} = 1252,071 \text{ kN} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}} = \frac{59,52}{1252,071} = 0,048 (5\%)$$

VYHOVÍ

- Zkroucení**

$$L_{cr,T} = 1150 \text{ mm}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left( G I_t + \frac{\pi^2 E I \omega}{L_{cr,T}^2} \right) = \frac{1}{76,8^2} (81000 * 1,220 * 10^5 + \frac{\pi^2 * 210000 * 3,149 * 10^{10}}{7900^2})$$

$$= \frac{1}{76,8^2} (9,882 * 10^9 + 1,046 * 10^9) = 1854,76 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{f_y A}{N_{cr,T}}} = 0,370$$

kroucení => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$ 

$$\Phi_T = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2] = 0,610 \quad \chi_T = \frac{1}{\Phi_T + \sqrt{\Phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = 0,913$$

$$N_{T,Rd} = \frac{\chi_T A f_y}{\gamma_{M0}} = 1257,772 \text{ kN} \quad 2: \quad \frac{N_{Ed}}{N_{T,Rd}} = \frac{59,52}{1257,772} = 0,048 (5\%)$$

VYHOVÍ

Únosnost v tlaku profilu vaznice HEA160 je  $N_{z,Rd} = 1252,071 \text{ kN}$ .

- Posouzení na ohyb**

Z-Z:

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{z,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,180 * 10^5 * 355}{1,0} = 41,890 \text{ kNm}$$

$$1: \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{3,31}{41,890} = 0,079 (8\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$2: \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{0,23}{41,890} = 0,006 (0,6\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

y-y: klopení

součinitel klopení

- dle NB.3.2, ČSN EN 1993-1-1

$$L = 3000 \text{ mm}$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$k_y = 1,0$$

$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0,0 \text{ (protože } I_{fc} = I_{ft})$$

$$z_j = 0,45 \psi_f h_f = 0,0$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 3000} \sqrt{\frac{210000 \cdot 3,149 \cdot 10^{10}}{81000 \cdot 1,220 \cdot 10^5}} = 0,857$$

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 76}{1,0 \cdot 3000} \sqrt{\frac{210000 \cdot 6,160 \cdot 10^6}{81000 \cdot 1,220 \cdot 10^5}} = 0,911$$

$$z_g = z_a - z_s = 76 - 0 = 76 \text{ mm}$$

$$\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = 0,0 \quad (z_j = 0,0)$$

- z tabulky NB.3.2, ČSN EN 1993-1-1

$$C_1 = 1,0$$

$$C_2 = 0,0$$

$$C_3 = 1,0$$

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right] = \\ &= \frac{1,13}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 0,857^2 + (0,0 \cdot 0,911 - 1,0 \cdot 0,0)^2} - (0,0 \cdot 0,911 - 0,0) \right] \\ &= 1,317 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 1,317 \frac{\pi \sqrt{210000 \cdot 6,160 \cdot 10^6 \cdot 81000 \cdot 1,220 \cdot 10^5}}{3000} = \\ &= 155,905 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{f_y W_{y,pl}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{355 \cdot 2,460 \cdot 10^5}{155,905 \cdot 10^6}} = 0,748$$

Křivka klopení  $d \Rightarrow \alpha_{LT} = 0,76$

$$\Phi_{LT} = \frac{1}{2} [1 + \alpha (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,988$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,612$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{y,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,612 \cdot 2,460 \cdot 10^5 \cdot 355}{1,0} = 53,439 \text{ kNm}$$

$$1: \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{34,42}{53,439} = 0,644 \text{ (65\% VYHOVÍ)}$$

$$2: \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{15,23}{53,439} = 0,285 \text{ (29\% VYHOVÍ)}$$

#### • Kombinace normálové síly a ohybového momentu

1:

Pro průřezy musí být splněna podmínka:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{73,84}{1377,400} = 0,054 \quad n = 0,054 \cdot 5 = 0,268 < 1 \Rightarrow 1,0$$

$$a = (A - 2b_t)/A = (3880 - 2 \cdot 160 \cdot 9)/3880 = 0,258$$

$$\begin{aligned} M_{y,N,Rd} &= M_{y,pl,Rd} (1 - n) / (1 - 0,5a) = M_{y,pl,Rd} (1 - 0,054) / (1 - 0,5 \cdot \\ 0,258 &= 1,086 M_{y,pl,Rd} > 1,0 \Rightarrow M_{y,pl,Rd} = M_{y,N,Rd} \end{aligned}$$

$$n < a: \quad M_{z,pl,Rd} = M_{z,N,Rd}$$

$$M_{N,y,Rd} = 53,439 \text{ kNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = 41,890 \text{ kNm}$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^2 + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^{5n} \leq 1,0$$

$$\left[\frac{34,42}{53,439}\right]^2 + \left[\frac{3,31}{41,890}\right]^{1,0} \leq 1,0$$

$$0,42 + 0,08 \leq 1,0$$

$$0,5 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

• **Posouzení na maximální posouvající sílu**

$$V_{z,Ed,max} = \pm 35,96 \text{ kN}$$

$$A_V \leq \eta h_w t_w = 1,0 \cdot 206 \cdot 6 = 804 \text{ mm}^2$$

$$A_V = 804 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{804 \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,0} = 164,787 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed,max}}{V_{pl,Rd}} = \frac{35,94}{164,787} = 0,219 \text{ (22\%)} \quad \text{VYHOVÍ} < 50\%$$

Navržený profil HEA160 vyhoví na návrhové namáhání a tím také na mezní stav únosnosti.

**4.1.2.2. MSP**

Mezní průhyb vaznice HEA240 je podle výpočtu z programu Scia Engineer 2010.1:

$$\delta < 20 \text{ mm} < L/200 = 7900/200 = 39,5 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Průřez vaznice HEA240 vyhoví na mezní stav použitelnosti.

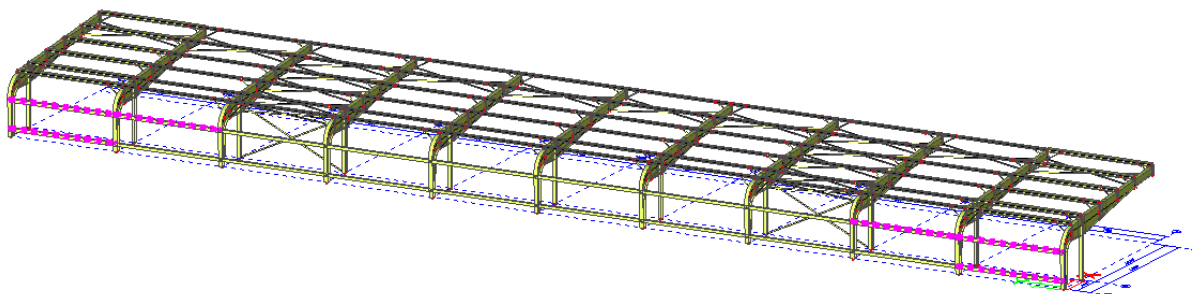
## 4.2. PAŽDÍKY

Materiálové vlastnosti:

Ocel S235 :

- mez kluzu  $f_y = 235$  MPa
- mez pevnosti  $f_u = 360$  MPa
- modul pružnosti  $E = 210\,000$  MPa
- modul pružnosti ve smyku  $G = 81\,000$  MPa
- objemová hmotnost  $\rho = 7850$  kg/m<sup>3</sup>
- poměr  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \varepsilon = 1,0$
- součinitele  $\gamma_{M0} = 1,00$   
 $\gamma_{M1} = 1,00$   
 $\gamma_{M2} = 1,25$

### 4.2.1. VHP220/220x10.0



Obr. 15 poloha vaznic 2U komora 220 ve výpočtovém modelu

#### 4.2.1.1. MSÚ

$N_{Ed,max}$	= -	7,76	kN
$M_{y,Ed,max}$	= +-	58,33	kNm
$M_{z,Ed,max}$	= -	9,70	kNm
$V_{Ed,max}$	=	33,43	kN

Průřezové charakteristiky:

$A$	= 8060	mm <sup>2</sup>		
$I_y$	= 5,780 * 10 <sup>7</sup>	mm <sup>4</sup>	$i_y = 84,7$ mm	$L_{cr,y} = 7900$ mm
$I_z$	= 5,780 * 10 <sup>7</sup>	mm <sup>4</sup>	$i_z = 84,7$ mm	$L_{cr,z} = 7900$ mm
$I_t$	= 9,510 * 10 <sup>7</sup>	mm <sup>4</sup>		
$I_\omega$	= 4,295 * 10 <sup>11</sup>	mm <sup>6</sup>	$i_0 = 119,8$ mm	
$W_{pl,y}$	= 6,620 * 10 <sup>5</sup>	mm <sup>3</sup>		
$W_{pl,z}$	= 6,620 * 10 <sup>5</sup>	mm <sup>3</sup>		

Zatřídění průřezu:

- Ohýbaný průřez

$$c/t \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 1,0 = 72,0$$

$$c/t = (220 - 2 \cdot 10) / 10 = 20,0 \leq 72,0 \Rightarrow \text{tř. 1}$$

Průřez třídy 1.

- Posouzení na rovinný vzpěr

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 1,00 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = 0,993$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = 0,993$$

y-y = z-z => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$

$$\Phi_y = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 1,188 \quad \chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0,544$$

$$N_{y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M0}} = 1029,866 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{7,76}{1029,866} = 0,008 \text{ (1\%)}$$

VYHOVÍ

- **Posouzení na ohyb**

z-z = y-y:

$$M_{z,Rd} = M_{y,Rd} = \frac{W_{z,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6,620 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 155,570 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{58,33}{155,570} = 0,375 < 1,0 \text{ (38\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{9,70}{155,570} = 0,063 < 1,0 \text{ (6\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

- **Posouzení na posouvající sílu**

$$A_v = A \cdot b / (b + h) = 8060 \cdot 220 / (220 + 220) = 4030 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{4030 \left( \frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 546,780 \text{ kNm}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{33,43}{546,780} = 0,062 \text{ (6\%)} \quad \text{VYHOVÍ} \quad < 50\% \text{ nesnižuje } M_{Rd}$$

- **Kombinace normálové síly a ohybového momentu**

Vzhledem k vysoké únosnosti není potřeba provádět.

#### 4.2.1.2. MSP

##### Dovolené mezní průhyby paždíku

Svislý:  $u_{z,mezni} = L/250 = 7900/250 = 31,6 \text{ mm}$

Vodorovný:  $u_{y,mezni} = L/250 = 7900/250 = 31,6 \text{ mm}$

##### Maximální průhyby (z výpočtu ze Scia Engineer 2010.1)

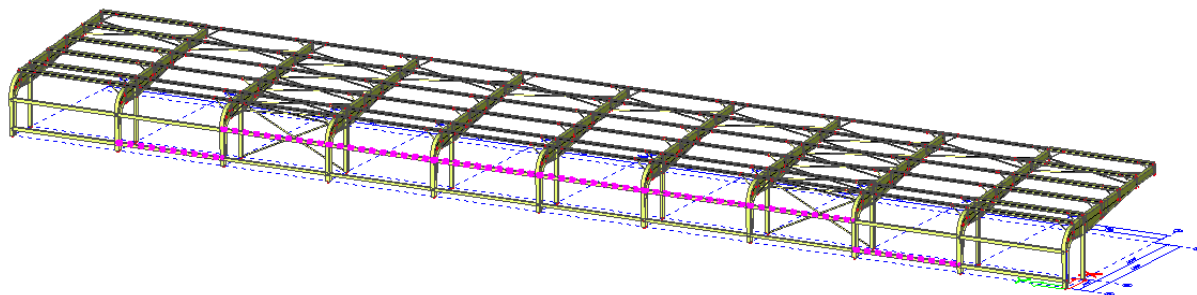
- Kombinace pro mezní stav použitelnosti

$$u_{z,max} = 4,2 \text{ mm} < u_{z,mezni} = 31,6 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$u_{y,max} = 24,5 \text{ mm} < u_{y,mezni} = 31,6 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Průřez VHP220/220x10.0 vyhoví na dané namáhání. Rozhodujícím mezním stavem je v tomto případě 2. Mezní stav použitelnosti.

## 4.2.2. VHP200/200x6.0



Obr. 16 poloha vaznic 2U komora 200 ve výpočtovém modelu

## 4.2.2.1. MSÚ

$N_{Ed,max}$	= -	4,66	kN
$M_{y,Ed,max}$	= +-	33,76	kNm
$M_{z,Ed,max}$	= -	6,85	kNm
$V_{Ed,max}$	=	17,36	kN

Průřezové charakteristiky:

$A$	= 4560	mm <sup>2</sup>		
$I_y$	= 2,830 * 10 <sup>7</sup>	mm <sup>4</sup>	$i_y = 78,8$ mm	$L_{cr,y} = 7900$ mm
$I_z$	= 2,830 * 10 <sup>7</sup>	mm <sup>4</sup>	$i_z = 78,8$ mm	$L_{cr,z} = 7900$ mm
$I_t$	= 4,450 * 10 <sup>7</sup>	mm <sup>4</sup>		
$I_\omega$	= 1,600 * 10 <sup>11</sup>	mm <sup>6</sup>	$i_0 = 111,4$ mm	
$W_{pl,y}$	= 3,300 * 10 <sup>5</sup>	mm <sup>3</sup>		
$W_{pl,z}$	= 3,300 * 10 <sup>5</sup>	mm <sup>3</sup>		

Zatřídění průřezu:

- Ohýbaný průřez

$$c/t \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 1,0 = 72,0$$

$$c/t = (200 - 2 \cdot 6) / 6 = 31,33 \leq 72,0 \Rightarrow \text{tř. 1}$$

Průřez třídy 1.

## • Posouzení na rovinný vzpěr

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 1,00 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = 1,068$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = 1,068$$

y-y=z-z => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$ 

$$\Phi_y = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 1,283 \quad \chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0,502$$

$$N_{y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M0}} = 537,474 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{4,66}{537,474} = 0,009 \text{ (1\%)}$$

VYHOVÍ

## • Posouzení na ohyb

z-z = y-y:

$$M_{z,Rd} = M_{y,Rd} = \frac{W_{z,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,300 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 77,550 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{33,76}{77,550} = 0,436 < 1,0 \text{ (44\%)}$$

VYHOVÍ

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{6,85}{155,570} = 0,089 < 1,0 \text{ (9\%)}$$

VYHOVÍ



- **Posouzení na posouvající sílu**

$$A_V = A \cdot b / (b + h) = 4560 \cdot 200 / (200 + 200) = 2280 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{2280 \left( \frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 309,344 \text{ kNm}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{17,36}{309,344} = 0,056 \quad (6\%) \quad \text{VYHOVÍ} \quad < 50\% \text{ nesnižuje } M_{Rd}$$

- **Kombinace normálové síly a ohybového momentu**

Vzhledem k vysoké únosnosti není potřeba provádět.

#### 4.2.2.2. MSP

##### Dovolené mezní průhyby paždíku

Svislý:  $u_{z,mezni} = L/250 = 7900/250 = 31,6 \text{ mm}$

Vodorovný:  $u_{y,mezni} = L/250 = 7900/250 = 31,6 \text{ mm}$

##### Maximální průhyby (z výpočtu ze Scia Engineer 2010.1)

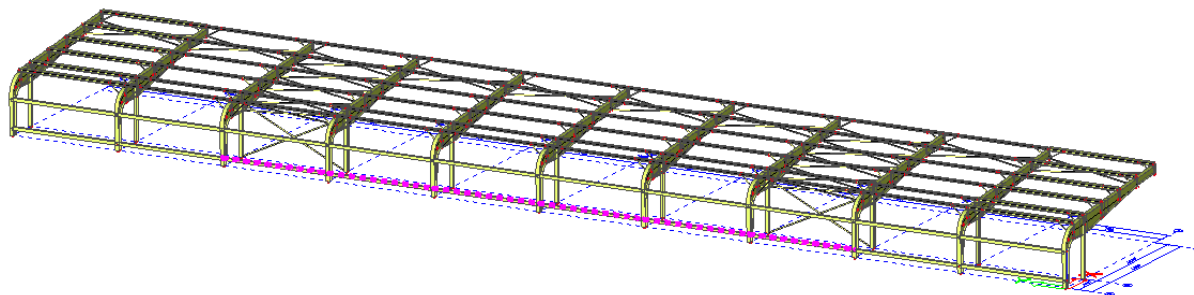
- Kombinace pro mezní stav použitelnosti

$$u_{z,max} = 5,9 \text{ mm} < u_{z,mezni} = 31,6 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$u_{y,max} = 27,2 \text{ mm} < u_{y,mezni} = 31,6 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Průřez VHP200/200x6.0 vyhoví na dané namáhání. Rozhodujícím mezním stavem je v tomto případě 2. mezní stav použitelnosti. Průřez byl zvolen, protože poskytoval dané vlastnosti spolu s nejmenší spotřebou materiálu a nutnosti svařování ze všech zkoumaných průřezů.

## 4.2.3. VHP180/180x6.0



Obr. 17 poloha vaznic 2U komora 180 ve výpočtovém modelu

## 4.2.3.1. MSÚ

$N_{Ed,max}$	= -	1,91	kN
$M_{y,Ed,max}$	= +-	24,57	kNm
$M_{z,Ed,max}$	= -	5,68	kNm
$V_{Ed,max}$	=	12,44	kN

Průřezové charakteristiky:

$A$	= 4080	mm <sup>2</sup>		
$I_y$	= 2,040 * 10 <sup>7</sup>	mm <sup>4</sup>	$i_y = 70,7$ mm	$L_{cr,y} = 7900$ mm
$I_z$	= 2,040 * 10 <sup>7</sup>	mm <sup>4</sup>	$i_z = 70,7$ mm	$L_{cr,z} = 7900$ mm
$I_t$	= 3,220 * 10 <sup>7</sup>	mm <sup>4</sup>		
$I_\omega$	= 9,448 * 10 <sup>10</sup>	mm <sup>6</sup>	$i_0 = 100,0$ mm	
$W_{pl,y}$	= 2,640 * 10 <sup>5</sup>	mm <sup>3</sup>		
$W_{pl,z}$	= 2,640 * 10 <sup>5</sup>	mm <sup>3</sup>		

Zatřídění průřezu:

- Ohýbaný průřez

$$c/t \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 1,0 = 72,0$$

$$c/t = (180 - 2 \cdot 6) / 6 = 28,00 \leq 72,0 \Rightarrow \text{tř. 1}$$

Průřez třídy 1.

## • Posouzení na rovinný vzpěr

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 1,00 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = 1,190$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = 1,190$$

y-y=z-z => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$ 

$$\Phi_y = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 1,450 \quad \chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0,439$$

$$N_{y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M0}} = 420,589 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{1,91}{420,589} = 0,005 (0,5\%)$$

VYHOVÍ

## • Posouzení na ohyb

z-z = y-y:

$$M_{z,Rd} = M_{y,Rd} = \frac{W_{z,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,640 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 62,040 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{24,57}{62,040} = 0,396 < 1,0 (40\%)$$

VYHOVÍ

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{5,68}{62,040} = 0,091 < 1,0 (9\%)$$

VYHOVÍ

- **Posouzení na posouvající sílu**

$$A_v = A \cdot b / (b + h) = 4080 \cdot 180 / (180 + 180) = 2040 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{2040 \left( \frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 276,787 \text{ kNm}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{12,44}{276,787} = 0,045 \quad (4,5\%) \quad \text{VYHOVÍ} \quad < 50\% \text{ nesnižuje } M_{Rd}$$

- **Kombinace normálové síly a ohybového momentu**

Vzhledem k vysoké únosnosti není potřeba provádět.

#### 4.2.3.2. MSP

##### Dovolené mezní průhyby paždíku

Svislý:  $u_{z,mezni} = L/250 = 7900/250 = 31,6 \text{ mm}$

Vodorovný:  $u_{y,mezni} = L/250 = 7900/250 = 31,6 \text{ mm}$

##### Maximální průhyby (z výpočtu ze Scia Engineer 2010.1)

- Kombinace pro mezní stav použitelnosti

$$u_{z,max} = 6,5 \text{ mm} < u_{z,mezni} = 31,6 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$u_{y,max} = 25,7 \text{ mm} < u_{y,mezni} = 31,6 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Průřez VHP180/180x6.0 vyhoví na dané namáhání. Rozhodujícím mezním stavem je v tomto případě 2. mezní stav použitelnosti. Průřez byl zvolen, protože poskytoval dané vlastnosti spolu s nejmenší spotřebou materiálu a nutnosti svařování ze všech zkoumaných průřezů.



Proměnný průřez hlavního nosníku:

- Mění se pouze výška po délce nosníku
- Neměnné rozměry- pro pole 4,5,6:
  - o  $b = 280$  mm
  - o  $t_f = 28$  mm
  - o  $t_w = 10$  mm
- Neměnné rozměry- pro pole 1,2,3:
  - o  $b = 280$  mm
  - o  $t_f = 20$  mm
  - o  $t_w = 10$  mm
- Proměnné rozměry:  $H, h_w$

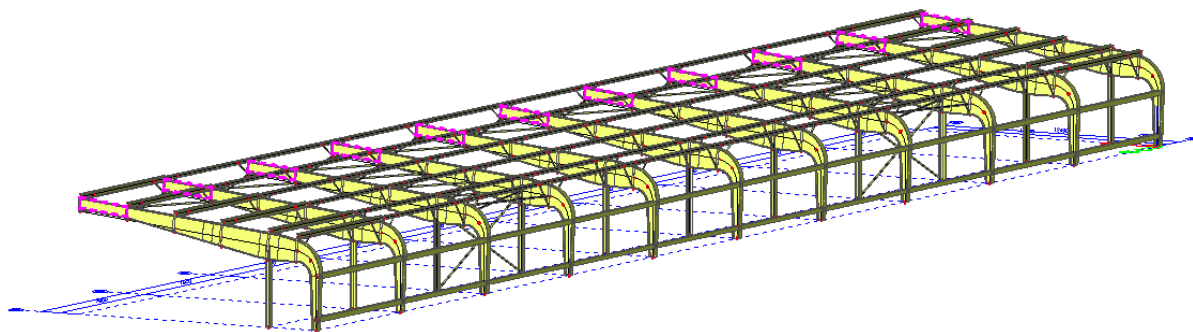
Materiálové vlastnosti:

Ocel S235 :

- mez kluzu  $f_y = 235$  MPa
- mez pevnosti  $f_u = 360$  MPa
- modul pružnosti  $E = 210\,000$  MPa
- modul pružnosti ve smyku  $G = 81\,000$  MPa
- objemová hmotnost  $\rho = 7850$  kg/m<sup>3</sup>
- poměr  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \varepsilon = 1,0$
- součinitele
  - $\gamma_{M0} = 1,00$
  - $\gamma_{M1} = 1,00$
  - $\gamma_{M2} = 1,25$

Pozn.: Ocel S235 byla pro hlavní nosník zvolena z důvodu MSP, kde při návrhu s ocelí S355 byly průřezy předimenzované na MSÚ, ale na MSP vyhověly s malou rezervou, faktorem je rovněž rozdíl cen ocelí.

#### 4.3.1. POLE 1



Obr. 20 Poloha POLE1 v konstrukci

1:  $M_{y,max}$ : CO0/18

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= - 4,13 \text{ kN} \\ M_{y,Ed,a} &= -138,59 \text{ kNm} \\ M_{y,Ed} &= - 70,00 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed,a} &= - 2,46 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= - 2,00 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2:  $M_{z,max}$  (CO0/2)

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= - 1,69 \text{ kN} \\ M_{y,Ed,a} &= -71,35 \text{ kNm} \\ M_{y,Ed} &= -38,00 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed,a} &= 6,23 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= 3,2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maximální posouvající síla:

$$V_{z,Ed} = \pm 57,71 \text{ kN}$$

Průměrný průřez:

$$H_a = 500 \text{ mm} \quad H_b = 500 \text{ mm} \\ H = 500 \text{ mm}$$

Průřezové charakteristiky: svařované I500

$$\begin{aligned} A &= 15800 \text{ mm}^2 \\ I_y &= 7,266 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 & i_y &= 214,4 \text{ mm} & L_{cr,y} &= 5000 \text{ mm} \\ I_z &= 7,321 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 & i_z &= 68,1 \text{ mm} & L_{cr,z} &= 2500 \text{ mm} \\ I_t &= 2,133 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \\ I_\omega &= 4,217 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6 & i_0 &= 225,0 \text{ mm} \\ W_{el,y} &= 2,906 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \\ W_{el,z} &= 5,229 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Zatřídění průřezu:

- Ohýbaný průřez stojina  
 $c/t \leq 124\epsilon = 124 \cdot 1,0 = 124$   
 $c/t = (500 - 2 \cdot 20)/10 = 46 \leq 124 \Rightarrow$  tř. 1  
 pásnice  
 $c/t \leq 9\epsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$   
 $c/t = (140 - 10/2)/20 = 6,75 \leq 9 \Rightarrow$  tř. 1

Pozn.: Průřez je součástí nosníku o proměnném průřezu, který se řeší, ve svém nejnepríznivějším místě jako průřez třídy 3. Podle zásad pro třídu 3 bude tedy provedeno posouzení pro všechny průřezy na tomto nosníku.

#### • Posouzení na rovinný vzpěr

$$\lambda_1 = 93,9\epsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = 0,248 \qquad \bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = 0,391$$

y-y => vzpěr. křivka b,  $\alpha=0,34$ 

$$\Phi_y = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,539 \quad \chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0,983$$

z-z => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$ 

$$\Phi_z = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,623 \quad \chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0,902$$

$$N_{y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M0}} = 3649,879 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{4,13}{3649,879} = 0,002 \text{ (0,2\%)} \\ \text{VYHOVÍ}$$

$$N_{z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M0}} = 3349,126 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}} = \frac{4,13}{3349,126} = 0,002 \text{ (0,2\%)} \\ \text{VYHOVÍ}$$

#### • Zkroucení

$$L_{cr,T} = 2500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} N_{cr,T} &= \frac{1}{i_0^2} \left( G I_t + \frac{\pi^2 E I_\omega}{L_{cr,T}^2} \right) = \frac{1}{214,4^2} (81000 \cdot 2,133 \cdot 10^6 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 4,217 \cdot 10^{12}}{2500^2}) \\ &= \frac{1}{214,4^2} (1,728 \cdot 10^{11} + 1,398 \cdot 10^{12}) = 31038,999 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{f_y A}{N_{cr,T}}} = 0,346$$

kroucení => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$ 

$$\Phi_T = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2] = 0,596 \quad \chi_T = \frac{1}{\Phi_T + \sqrt{\Phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = 0,926$$

$$N_{T,Rd} = \frac{\chi_T A f_y}{\gamma_{M0}} = 3438,238 \text{ kN} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{T,Rd}} = \frac{4,13}{3438,238} = 0,002 (0,2\%)$$

VYHOVÍ

- Posouzení na ohyb

Z-Z:

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{z,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,229 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 122,891 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{2,0}{122,891} = 0,017 (2\%) < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

y-y: klopení

součinitel klopení

- dle NB.3.2, ČSN EN 1993-1-1

$$L = 2500 \text{ mm}$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$k_y = 1,0$$

$$\Psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0,0 \text{ (protože } I_{fc} = I_{ft})$$

$$z_j = 0,45 \Psi_f h_f = 0,0$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2500} \sqrt{\frac{210000 \cdot 4,217 \cdot 10^{12}}{81000 \cdot 2,133 \cdot 10^6}} = 2,845$$

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 250}{1,0 \cdot 2500} \sqrt{\frac{210000 \cdot 7,321 \cdot 10^7}{81000 \cdot 2,133 \cdot 10^6}} = 2,963$$

$$z_g = z_a - z_s = 250 - 0 = 250 \text{ mm}$$

$$\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = 0,0 \text{ (} z_j = 0,0 \text{)}$$

- z tabulky NB.3.1, ČSN EN 1993-1-1

$$C_1 = 1,85$$

$$C_2 = 0,0$$

$$C_3 = 1,0$$

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right] = \\ &= \frac{1,85}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 2,845^2 + (0 \cdot 2,963 - 1,0 \cdot 0,0)^2} - (0 \cdot 2,963 - 0,0) \right] = \\ &= 5,578 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 2,768 \frac{\pi \sqrt{210000 \cdot 3,338 \cdot 10^7 \cdot 81000 \cdot 2,914 \cdot 10^6}}{2500} = \\ &= 11426,267 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{f_y W_{y,pl}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{235 \cdot 2,906 \cdot 10^6}{11426,267 \cdot 10^6}} = 0,244$$

Křivka klopení d =>  $\alpha_{LT} = 0,76$ 

$$\Phi_{LT} = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,547$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0,965$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{y,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,965 * 2,906 * 10^6 * 235}{1,0} = 659,345 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{70,00}{659,345} = 0,107 (11\%) < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

- Posouzení na posouvající sílu**

$$A_v \leq \eta h_w t_w = 1,0 * 460 * 10 = 4600 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 4600 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{4600 \left( \frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 624,116 \text{ kNm}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{57,71}{624,116} = 0,093 \quad (9,3\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

<50% není třeba snižovat únosnost v ohybu

- Kombinace namáhání momenty a normálovou silou**

Interakční součinitele dle přílohy B – metoda 2

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

Posouzení na kombinaci účinků vnitřních sil není potřeba. Průřez je z důvodu MSP předimenzovaný, aby zajistil dostatečnou tuhost konstrukce.

- Posouzení průřezu „a,,: zajištěný proti klopení, svařované I500**

$$W_{el,y} = 2,906 * 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,z} = 5,229 * 10^5 \text{ mm}^3$$

y-y:

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{y,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,906 * 10^6 * 235}{1,0} = 682,910 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{138,59}{682,910} = 0,203 (21\%) < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

z-z:

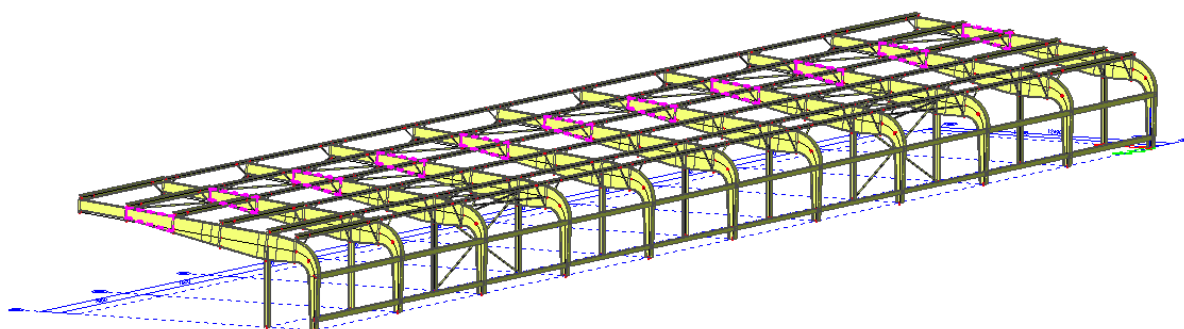
$$M_{z,Rd} = \frac{W_{z,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,229 * 10^5 * 235}{1,0} = 122,891 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{2,46}{122,891} = 0,020 (2\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

Navržený proměnný průřez vyhoví na dané namáhání.



#### 4.3.2. POLE 2



Obr. 21 Poloha POLE2 v konstrukci

1:  $M_{y,max}$ : CO0/18

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -11,57 \text{ kN} \\ M_{y,Ed,a} &= -553,29 \text{ kNm} \\ M_{y,Ed} &= -350,00 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed,a} &= -0,28 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= -2,00 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2:  $N_{max}$  (CO0/6)

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -30,60 \text{ kN} \\ M_{y,Ed,a} &= -219,72 \text{ kNm} \\ M_{y,Ed} &= -145,00 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed,a} &= -1,19 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= -1,00 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maximální posouvající síla:

$$V_{z,Ed} = 169,20 \text{ kN}$$

Průměrný průřez:

$$\begin{aligned} H_a &= 750 \text{ mm} & H_b &= 500 \text{ mm} \\ H &= 625 \text{ mm} \end{aligned}$$

Průřezové charakteristiky: svařované I625

$$\begin{aligned} A &= 17050 \text{ mm}^2 \\ I_y &= 1,192 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 & i_y &= 264,4 \text{ mm} & L_{cr,y} &= 5000 \text{ mm} \\ I_z &= 7,322 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 & i_z &= 65,5 \text{ mm} & L_{cr,z} &= 2500 \text{ mm} \\ I_t &= 1,769 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \\ I_w &= 6,700 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6 & i_0 &= 272,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{el,y} &= 3,815 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \\ W_{el,z} &= 5,230 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Zatřídění průřezu:

- Ohýbaný průřez stojina

$$\begin{aligned} c/t &\leq 72\varepsilon = 72 \cdot 1,0 = 72 \\ c/t &= (625 - 2 \cdot 20) / 10 = 58,5 \leq 72 \Rightarrow \text{tř. 1} \end{aligned}$$

pásnice

$$\begin{aligned} c/t &\leq 9\varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9 \\ c/t &= (140 - 10/2) / 20 = 6,75 \leq 9 \Rightarrow \text{tř. 1} \end{aligned}$$

Pozn.: Průřez je součástí nosníku o proměnném průřezu, který se řeší, ve svém nejnepříznivějším místě jako průřez třídy 3. Podle zásad pro třídu 3 bude tedy provedeno posouzení pro všechny průřezy na tomto nosníku.

### • Posouzení na rovinný vzpěr

$$\lambda_1 = 93,9\epsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = 0,201$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = 0,406$$

y-y => vzpěr. křivka b,  $\alpha=0,34$

$$\Phi_y = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,521 \quad \chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 1,000$$

z-z => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$

$$\Phi_z = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,633 \quad \chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0,894$$

1:

$$N_{y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M0}} = 4006,750 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{11,57}{4006,750} = 0,003 (0,3\%)$$

VYHOVÍ

$$N_{z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M0}} = 3582,033 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}} = \frac{11,57}{3582,033} = 0,004 (0,4\%)$$

VYHOVÍ

2:

$$N_{y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M0}} = 4006,750 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{30,6}{4006,750} = 0,008 (0,8\%)$$

VYHOVÍ

$$N_{z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M0}} = 3582,033 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}} = \frac{30,6}{3582,033} = 0,009 (0,9\%)$$

VYHOVÍ

### • Zkroucení

$$L_{cr,T} = 2500 \text{ mm}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left( G I_t + \frac{\pi^2 E I_\omega}{L_{cr,T}^2} \right) = \frac{1}{272,4^2} (81000 \cdot 1,769 \cdot 10^6 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 6,700 \cdot 10^{12}}{2500^2})$$

$$= \frac{1}{272,4^2} (1,433 \cdot 10^{11} + 2,222 \cdot 10^{12}) = 31870,886 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{f_y A}{N_{cr,T}}} = 0,355$$

kroucení => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$

$$\Phi_T = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2] = 0,601 \quad \chi_T = \frac{1}{\Phi_T + \sqrt{\Phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = 0,921$$

1:

$$N_{T,Rd} = \frac{\chi_T A f_y}{\gamma_{M0}} = 3690,216 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{T,Rd}} = \frac{11,57}{3690,216} = 0,004 (\%)$$

VYHOVÍ

2:

$$N_{T,Rd} = \frac{\chi_T A f_y}{\gamma_{M0}} = 3690,216 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{T,Rd}} = \frac{30,6}{3690,216} = 0,008 (\%)$$

VYHOVÍ

### • Posouzení na ohyb

Z-Z:

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{z,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,230 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 122,907 \text{ kNm}$$

$$1: \quad \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{2,0}{122,907} = 0,017 (1,7\%)$$

VYHOVÍ

$$2: \quad \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{1,0}{122,907} = 0,009 (0,9\%)$$

VYHOVÍ

y-y: klopení

součinitel klopení

- dle NB.3.2, ČSN EN 1993-1-1

$$L = 2500 \text{ mm}$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$k_y = 1,0$$

$$\psi_f = \frac{l_{fc} - l_{ft}}{l_{fc} + l_{ft}} = 0,0 \text{ (protože } l_{fc} = l_{ft})$$

$$z_j = 0,45 \psi_f h_f = 0,0$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2500} \sqrt{\frac{210000 \cdot 6,700 \cdot 10^{12}}{81000 \cdot 1,769 \cdot 10^6}} = 3,938$$

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 312,5}{1,0 \cdot 2500} \sqrt{\frac{210000 \cdot 7,322 \cdot 10^7}{81000 \cdot 1,769 \cdot 10^6}} = 4,068$$

$$z_g = z_a - z_s = 312,5 - 0 = 312,5 \text{ mm}$$

$$\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = 0,0 \text{ (} z_j = 0,0 \text{)}$$

- z tabulky NB.3.1, ČSN EN 1993-1-1

$$C_1 = 1,55$$

$$C_2 = 0,0$$

$$C_3 = 1,0$$

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right] = \\ &= \frac{1,55}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 3,938^2 + (0 \cdot 4,068 - 1,0 \cdot 0,0)^2} - (0 \cdot 4,068 - 0,0) \right] = \\ &= 6,298 \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 6,298 \frac{\pi \sqrt{210000 \cdot 7,322 \cdot 10^7 \cdot 81000 \cdot 1,769 \cdot 10^6}}{2500} = 11746,471 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{f_y W_{y,pl}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{235 \cdot 3,815 \cdot 10^6}{11746,471 \cdot 10^6}} = 0,276$$

Křivka klopení d =>  $\alpha_{LT} = 0,76$ 

$$\Phi_{LT} = \frac{1}{2} [1 + \alpha (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,567$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,941$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{y,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,941 \cdot 3,815 \cdot 10^6 \cdot 235}{1,0} = 843,630 \text{ kNm}$$

$$1: \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{350,00}{843,630} = 0,415 \text{ (42\%)} < 1,0$$

VYHOVÍ

$$2: \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{145,00}{843,630} = 0,172 \text{ (17\%)} < 1,0$$

VYHOVÍ

- **Posouzení na posouvající sílu**

$$A_V \leq \eta h_w t_w = 1,0 \cdot 585 \cdot 10 = 5850 \text{ mm}^2$$

$$A_V = 5850 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{5850 \left( \frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 793,712 \text{ kNm}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{169,20}{793,712} = 0,214 \quad (22\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

<50% není třeba snižovat únosnost v ohybu

- **Kombinace namáhání momenty a normálovou silou**

Interakční součinitele dle přílohy B – metoda 2

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

Posouzení na kombinaci účinků vnitřních sil není potřeba. Průřez je z důvodu MSP předimenzovaný, aby zajistil dostatečnou tuhost konstrukce.

- **Posouzení průřezu „a“: zajištěný proti klopení, svařované I750**

$$W_{el,y} = 3,815 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,z} = 5,230 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

y-y:

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{y,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,815 \cdot 10^6 \cdot 235}{1,0} = 896,525 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{553,29}{896,525} = 0,617 \quad (62\%) < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

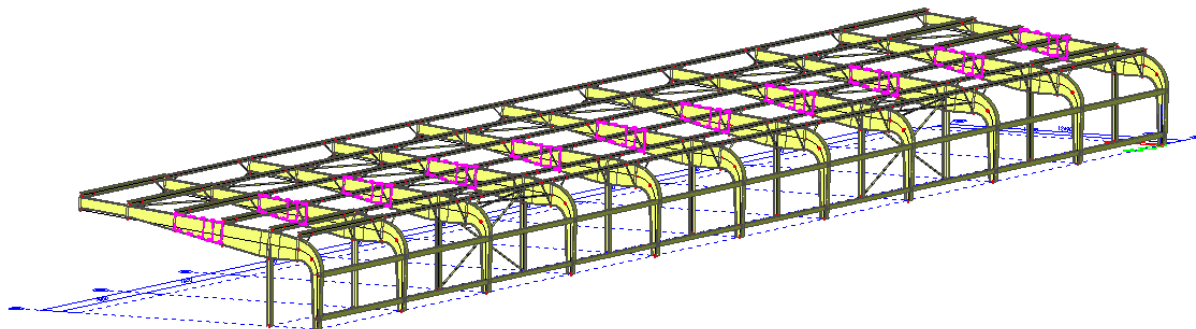
z-z:

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{z,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,230 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 122,882 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{0,21}{122,882} = 0,002 \quad (0,2\%) < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Navržený proměnný průřez vyhoví na dané namáhání.

### 4.3.3. POLE 3



Obr. 22 Poloha POLE3 v konstrukci

1:  $M_{y,max}$ : CO0/7

2:  $N_{max}$  (CO0/9)

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -19,11 \text{ kN} \\ M_{y,Ed,a} &= -1252,80 \text{ kNm} \\ M_{y,Ed} &= -910,00 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed,a} &= -3,98 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= -2,00 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -68,35 \text{ kN} \\ M_{y,Ed,a} &= -483,55 \text{ kNm} \\ M_{y,Ed} &= -360,00 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed,a} &= -4,68 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= -3,00 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maximální posouvající síla:

$$V_{z,Ed} = 284,50 \text{ kN}$$

Průměrný průřez:

$$\begin{aligned} H_a &= 1000 \text{ mm} & H_b &= 750 \text{ mm} \\ H &= 875 \text{ mm} \end{aligned}$$

Průřezové charakteristiky: svařované I875

$$\begin{aligned} A &= 19550 \text{ mm}^2 \\ I_y &= 2,532 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 & i_y &= 359,9 \text{ mm} & L_{cr,y} &= 5000 \text{ mm} \\ I_z &= 7,324 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 & i_z &= 61,2 \text{ mm} & L_{cr,z} &= 2500 \text{ mm} \\ I_t &= 1,441 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \\ I_w &= 1,339 \cdot 10^{13} \text{ mm}^6 & i_0 &= 365,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{el,y} &= 5,788 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \\ W_{el,z} &= 5,231 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Zatřídění průřezu:

- Ohýbaný průřez stojina

$$\begin{aligned} c/t &\leq 124\varepsilon = 124 \cdot 1,0 = 124 \\ c/t &= (875 - 20 \cdot 2)/10 = 83,5 \leq 124 \Rightarrow \text{tř. 3} \end{aligned}$$

pásnice

$$\begin{aligned} c/t &\leq 9\varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9 \\ c/t &= (140 - 10/2)/20 = 6,75 \leq 9 \Rightarrow \text{tř. 1} \end{aligned}$$

Průřez třídy 3.

#### • Posouzení na rovinný vzpěr

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = 0,148$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = 0,435$$

y-y  $\Rightarrow$  vzpěr. křivka b,  $\alpha=0,34$

$$\Phi_y = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,502 \quad \chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 1,000$$

z-z => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$ 

$$\Phi_z = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,652 \quad \chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0,879$$

1: (rozhodující kombinace)

$$N_{y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M0}} = 4594,250 \text{ kN} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{19,11}{4594,250} = 0,005 (0,5\%)$$

VYHOVÍ

$$N_{z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M0}} = 4036,787 \text{ kN} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}} = \frac{19,11}{4036,787} = 0,005 (0,5\%)$$

VYHOVÍ

### • Zkroucení

$$L_{cr,T} = 2500 \text{ mm}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left( G I_t + \frac{\pi^2 E I_{\omega}}{L_{cr,T}^2} \right) \frac{1}{359,9^2} \left( 81000 * 1,442 * 10^6 + \frac{\pi^2 * 210000 * 1,339 * 10^{13}}{2500^2} \right)$$

$$= \frac{1}{359,9^2} (1,168 * 10^{11} + 4,439 * 10^{12}) = 34181,040 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{f_y A}{N_{cr,T}}} = 0,367$$

kroucení => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$ 

$$\Phi_T = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2] = 0,608 \quad \chi_T = \frac{1}{\Phi_T + \sqrt{\Phi_T^2 - \lambda_T^2}} = 0,915$$

1:

$$N_{T,Rd} = \frac{\chi_T A f_y}{\gamma_{M0}} = 4203,738 \text{ kN} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{T,Rd}} = \frac{19,11}{4203,738} = 0,005 (0,5\%)$$

VYHOVÍ

### • Posouzení na ohyb

Z-Z:

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{z,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5,232 * 10^5 * 235}{1,0} = 122,943 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{2,0}{122,943} = 0,017 (1,7\%)$$

VYHOVÍ

y-y: klopení

součinitel klopení

- dle NB.3.2, ČSN EN 1993-1-1

$$L = 2500 \text{ mm}$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$k_y = 1,0$$

$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0,0 \text{ (protože } I_{fc} = I_{ft})$$

$$z_f = 0,45 \psi_f h_f = 0,0$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{E I_w}{G I_t}} = \frac{\pi}{1,0 * 2500} \sqrt{\frac{210000 * 1,339 * 10^{13}}{81000 * 1,442 * 10^6}} = 6,166$$

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{E I_z}{G I_t}} = \frac{\pi * 437,5}{1,0 * 2500} \sqrt{\frac{210000 * 7,324 * 10^7}{81000 * 1,442 * 10^6}} = 6,310$$

$$z_g = z_a - z_s = 437,5 - 0 = 437,5 \text{ mm}$$

$$\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = 0,0 \quad (z_j=0,0)$$

- z tabulky NB.3.1, ČSN EN 1993-1-1

$$C_1 = 1,32$$

$$C_2 = 0,0$$

$$C_3 = 1,0$$

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right] = \\ &= \frac{1,32}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 6,166^2 + (0 * 6,310 - 1,0 * 0,0)^2} - (0 * 6,310 - 0,0) \right] \\ &= 8,245 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 8,245 \frac{\pi \sqrt{210000 * 7,324 * 10^7 * 81000 * 1,442 * 10^6}}{2500} = \\ &= 13885,234 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{f_y W_{y,pl}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{235 * 7,477 * 10^6}{19313,979 * 10^6}} = 0,313$$

Křivka klopení d =>  $\alpha_{LT} = 0,76$

$$\Phi_{LT} = \frac{1}{2} [1 + \alpha (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,592$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,914$$

$$M_{el,y,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{y,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,914 * 5,788 * 10^6 * 235}{1,0} = 1243,013 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{910,00}{1243,013} = 0,732 \quad (73,2\%) < 1,0$$

VYHOVÍ

#### • Posouzení na posouvající sílu

$$A_v \leq \eta h_w t_w = 1,0 * 835 * 10 = 8350 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 8350 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{8350 \left( \frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 1132,906 \text{ kNm}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{284,5}{1132,906} = 0,251 \quad (25\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

<50% není třeba snižovat únosnost v ohybu

#### • Kombinace namáhání momenty a normálovou silou

Interakční součinitele dle přílohy B – metoda 2

$$C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \Psi = 0,6 + 0,4 * 0,438 = 0,775$$

$$k_{yy} = 0,777$$

$$k_{yz} = 0,777$$

$$k_{zy} = 0,9995$$

$$k_{zz} = 0,777$$

Podmínky:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{\gamma_{M1}}{0,005+0,777*0,732+0,777*0,017} = 0,587 < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{\gamma_{M1}}{0,005+0,9995*0,732+0,777*0,017} = 0,75 < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

- Posouzení průřezu „a“: zajištěný proti klopení, svařované I1000

Zatřídění průřezu:

- Ohýbaný průřez stojina  
 $c/t \leq 124\varepsilon = 124*1,0 = 124$   
 $c/t = (1000-28*2)/10 = 94,4 \leq 124 \Rightarrow$  tř. 3  
 pásnice  
 $c/t \leq 9\varepsilon = 9*1,0 = 9$   
 $c/t = (140-10/2)/28 = 4,82 \leq 9 \Rightarrow$  tř. 1

Průřez třídy 3.

$$W_{el,y} = 8,811 * 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,z} = 7,323 * 10^5 \text{ mm}^3$$

y-y:

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{y,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,811 * 10^6 * 235}{1,0} = 2070,585 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{1252,80}{2070,585} = 0,605 (61\%) < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

z-z:

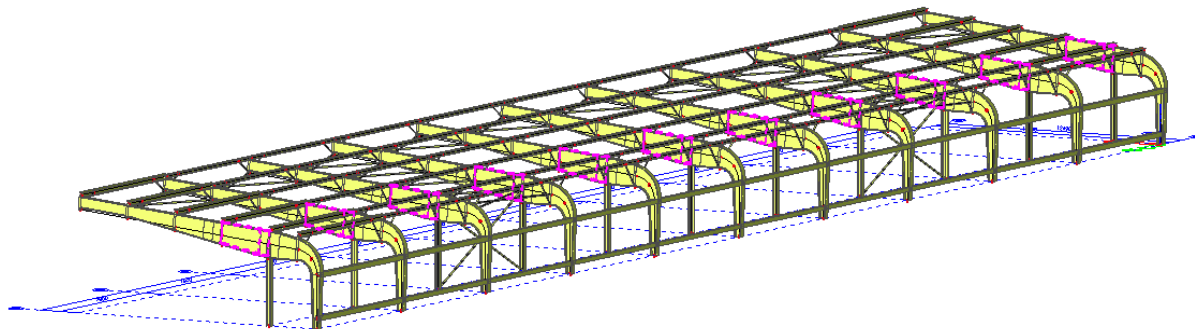
$$M_{z,Rd} = \frac{W_{z,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,323 * 10^5 * 235}{1,0} = 172,114 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{3,98}{172,114} = 0,023 (2,3\%) < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Navržený proměnný průřez vyhoví na dané namáhání.



#### 4.3.4. POLE 4



Obr. 23 Poloha POLE4 v konstrukci

1:  $M_{y,max}$ : CO0/7

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -26,78 \text{ kN} \\ M_{y,Ed,a} &= -2245,02 \text{ kNm} \\ M_{y,Ed} &= -1770,00 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed,a} &= -7,17 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= -5,50 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2:  $N_{max}$  (CO0/9)

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -171,41 \text{ kN} \\ M_{y,Ed,a} &= -851,08 \text{ kNm} \\ M_{y,Ed} &= -670,00 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed,a} &= -35,03 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= -20,00 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maximální posouvající síla:

$$V_{z,Ed} = 402,51 \text{ kN}$$

Průměrný průřez:

$$\begin{aligned} H_a &= 1200 \text{ mm} & H_b &= 1000 \text{ mm} \\ H &= 1050 \text{ mm} \end{aligned}$$

Průřezové charakteristiky: svařované I1050

$$\begin{aligned} A &= 25620 \text{ mm}^2 \\ I_y &= 4,914 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 & i_y &= 437,9 \text{ mm} & L_{cr,y} &= 5000 \text{ mm} \\ I_z &= 1,025 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 & i_z &= 63,3 \text{ mm} & L_{cr,z} &= 2500 \text{ mm} \\ I_t &= 2,192 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \\ I_\omega &= 2,677 \cdot 10^{13} \text{ mm}^6 & i_0 &= 442,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{el,y} &= 9,360 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \\ W_{el,z} &= 7,323 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Zatřídění průřezu:

- Ohýbaný průřez stojina
  - $c/t \leq 124\varepsilon = 124 \cdot 1,0 = 124$
  - $c/t = (1050 - 28 \cdot 2) / 10 = 99,4 \leq 124 \Rightarrow$  tř. 3
- pásnice
  - $c/t \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$
  - $c/t = (140 - 10/2) / 28 = 4,82 \leq 9 \Rightarrow$  tř. 1

Průřez třídy 3.

#### • Posouzení na rovinný vzpěr

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = 0,122$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = 0,421$$

y-y => vzpěr. křivka b,  $\alpha=0,34$ 

$$\Phi_y = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,494 \quad \chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 1,000$$

z-z => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$ 

$$\Phi_z = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,643 \quad \chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0,886$$

1:

$$N_{y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M0}} = 6020,700 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{26,78}{6020,700} = 0,004 (0,4\%)$$

VYHOVÍ

$$N_{z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M0}} = 5334,340 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}} = \frac{26,78}{5334,340} = 0,005 (0,5\%)$$

VYHOVÍ

2:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{117,41}{6020,700} = 0,020 (2\%)$$

VYHOVÍ

$$\frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}} = \frac{117,41}{5334,340} = 0,022 (2,2\%)$$

VYHOVÍ

### • Zkroucení

$$L_{cr,T} = 2500 \text{ mm}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left( G I_t + \frac{\pi^2 E I_{\omega}}{L_{cr,T}^2} \right) \frac{1}{442,5^2} (81000 * 2,192 * 10^6 + \frac{\pi^2 * 210000 * 2,677 * 10^{13}}{2500^2})$$

$$= \frac{1}{442,5^2} (1,775 * 10^{11} + 8,878 * 10^{12}) = 46251,128 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{f_y A}{N_{cr,T}}} = 0,361$$

kroucení => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$ 

$$\Phi_T = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2] = 0,604 \quad \chi_T = \frac{1}{\Phi_T + \sqrt{\Phi_T^2 - \lambda_T^2}} = 0,918$$

1:

$$N_{T,Rd} = \frac{\chi_T A f_y}{\gamma_{M0}} = 5527,003 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{T,Rd}} = \frac{26,78}{5527,003} = 0,005 (0,5\%)$$

VYHOVÍ

2:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{T,Rd}} = \frac{117,41}{5527,003} = 0,021 (2,1\%)$$

VYHOVÍ

### • Posouzení na ohyb

z-z:

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{z,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,323 * 10^5 * 235}{1,0} = 172,098 \text{ kNm}$$

$$1: \quad \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{7,17}{172,098} = 0,042 (4,2\%)$$

VYHOVÍ

$$2: \quad \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{20,00}{172,098} = 0,116 (12\%)$$

VYHOVÍ

y-y: klopení

součinitel klopení

- dle NB.3.2, ČSN EN 1993-1-1

$$L = 2500 \text{ mm}$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$k_y = 1,0$$

$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0,0 \text{ (protože } I_{fc} = I_{ft})$$

$$z_j = 0,45 \psi_f h_f = 0,0$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2500} \sqrt{\frac{210000 \cdot 2,677 \cdot 10^{13}}{81000 \cdot 2,192 \cdot 10^6}} = 7,072$$

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 525}{1,0 \cdot 2500} \sqrt{\frac{210000 \cdot 1,025 \cdot 10^8}{81000 \cdot 2,192 \cdot 10^6}} = 7,266$$

$$z_g = z_a - z_s = 525 - 0 = 525 \text{ mm}$$

$$\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = 0,0 \text{ (} z_j = 0,0 \text{)}$$

- z tabulky NB.3.1, ČSN EN 1993-1-1

$$C_1 = 1,32$$

$$C_2 = 0,0$$

$$C_3 = 1,0$$

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right] = \\ &= \frac{1,32}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 7,072^2 + (0 \cdot 7,266 - 1,0 \cdot 0,0)^2} - (0 \cdot 7,266 - 0,0) \right] \\ &= 9,428 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 9,428 \frac{\pi \sqrt{210000 \cdot 1,025 \cdot 10^8 \cdot 81000 \cdot 2,192 \cdot 10^6}}{2500} = \\ &= 23162,401 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{f_y W_{y,el}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{235 \cdot 9,360 \cdot 10^6}{23162,401 \cdot 10^6}} = 0,308$$

Křivka klopení d  $\Rightarrow \alpha_{LT} = 0,76$ 

$$\Phi_{LT} = \frac{1}{2} [1 + \alpha (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,589$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,917$$

$$M_{el,y,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{y,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,911 \cdot 8,910 \cdot 10^6 \cdot 235}{1,0} = 2017,835 \text{ kNm}$$

$$1: \quad \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{1770}{2017,835} = 0,877 \text{ (88\%)} < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$2: \quad \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{670,00}{2017,835} = 0,332 \text{ (33\%)} < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

- **Posouzení na posouvající sílu**

$$A_V \leq \eta h_w t_w = 1,0 \cdot 994 \cdot 10 = 9940 \text{ mm}^2$$

$$A_V = 9940 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{9940 \left( \frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 1348,632 \text{ kNm}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{402,51}{1348,632} = 0,299 \quad (30\%) < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

<50% není třeba snižovat únosnost v ohybu

- **Kombinace namáhání momenty a normálovou silou**

Interakční součinitele dle přílohy B – metoda 2

$$C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 0,6 + 0,4\psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,556 = 0,822$$

$$k_{yy} = 0,822$$

$$k_{yz} = 0,823$$

$$k_{zy} = 1,000$$

$$k_{zz} = 0,823$$

Podmínky pro kombinaci 1:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$0,004 + 0,822 \cdot 0,877 + 0,823 \cdot 0,042 = 0,7595 \quad (76\%) < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$0,005 + 1,000 \cdot 0,877 + 0,823 \cdot 0,042 = 0,917 \quad (92\%) < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Podmínky pro kombinaci 2:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$0,020 + 0,822 \cdot 0,332 + 0,823 \cdot 0,116 = 0,389 \quad (39\%) < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$
$$0,022 + 1,000 \cdot 0,332 + 0,823 \cdot 0,116 = 0,449 \quad (45\%) < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

- **Posouzení průřezu „a“: zajištěný proti klopení, svařované I1200**

Zatřídění průřezu:

- Ohýbaný průřez stojina  
 $c/t \leq 124\epsilon = 124 \cdot 1,0 = 124$   
 $c/t = (1200 - 28 \cdot 2) / 12 = 95,33 \leq 124 \Rightarrow$  tř. 3  
pásnice  
 $c/t \leq 9\epsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$   
 $c/t = (140 - 10/2) / 28 = 4,82 \leq 9 \Rightarrow$  tř. 1

Průřez třídy 3.

$$W_{el,y} = 1,147 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,z} = 7,329 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

y-y:

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{y,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,147 \cdot 10^7 \cdot 235}{1,0} = 2695,450 \text{ kNm}$$

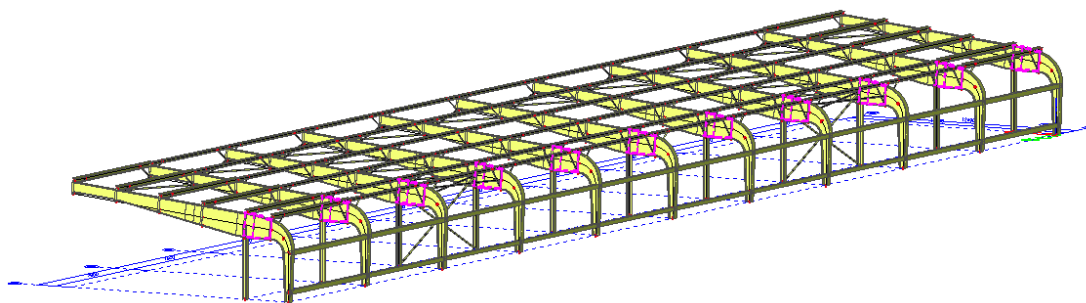
$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{2245,02}{2695,450} = 0,833 \text{ (84\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

z-z:

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{z,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,329 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 172,231 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{7,18}{172,231} = 0,040 \text{ (4\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Navržený proměnný průřez vyhoví na dané namáhání.

**4.3.5. POLE 5****Obr. 24 Poloha POLE5 v konstrukci**1:  $M_{y,max}$ : CO0/72:  $M_{z,max}$  (CO0/9)

$$N_{Ed} = 109,21 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,b} = -2245,02 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed,a} = -768,23 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = -1520,00 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,a} = -7,18 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -7,00 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 159,61 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,b} = -772,76 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed,a} = -65,52 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = -430,00 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,a} = 39,83 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 30,00 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = -983,73 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = -471,93 \text{ kNm}$$

Průměrný průřez:

$$H_a = 1000 \text{ mm} \quad H_b = 1200 \text{ mm}$$

$$H = 1100 \text{ mm}$$

Průřezové charakteristiky: svařované I1100

$$A = 26120 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 5,454 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 \quad i_y = 457,0 \text{ mm} \quad L_{cr,y} = 3000 \text{ mm}$$

$$I_z = 1,025 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 \quad i_z = 62,7 \text{ mm} \quad L_{cr,z} = 1500 \text{ mm}$$

$$I_t = 2,133 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_\omega = 2,946 \cdot 10^{13} \text{ mm}^6 \quad i_0 = 461,2 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 9,917 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,z} = 7,324 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Zatřídění průřezu:

- Ohýbaný průřez stojina  
 $c/t \leq 124\varepsilon = 124 \cdot 1,0 = 124$   
 $c/t = (1100 - 28 \cdot 2) / 10 = 104,4 \leq 124 \Rightarrow$  tř. 3  
 pásnice  
 $c/t \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$   
 $c/t = (140 - 10/2) / 28 = 4,82 \leq 9 \Rightarrow$  tř. 1

Průřez třídy 3.

- Posouzení na rovinný vzpěr

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = 0,070$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = 0,255$$

y-y  $\Rightarrow$  vzpěr. křivka b,  $\alpha=0,34$ 

$$\Phi_y = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,480 \quad \chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 1,000$$

z-z  $\Rightarrow$  vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$ 

$$\Phi_z = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,546 \quad \chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0,972$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = 6138,200 \text{ kN} \quad 1: \quad \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{109,21}{6138,200} = 0,018 \text{ (2\%)}$$

VYHOVÍ

$$2: \quad \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{159,61}{6138,200} = 0,026 \text{ (3\%)}$$

VYHOVÍ

- Zkroucení

$$L_{cr,T} = 1500 \text{ mm}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left( G I_t + \frac{\pi^2 E I_\omega}{L_{cr,T}^2} \right) = \frac{1}{461,2^2} (81000 \cdot 2,133 \cdot 10^6 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2,946 \cdot 10^{13}}{1500^2})$$

$$= \frac{1}{461,2^2} (1,728 \cdot 10^{11} + 2,713 \cdot 10^{13}) = 128361,726 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{f_y A}{N_{cr,T}}} = 0,219$$

kroucení  $\Rightarrow$  vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$ 

$$\Phi_T = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2] = 0,528 \quad \chi_T = \frac{1}{\Phi_T + \sqrt{\Phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = 0,990$$

$$N_{T,Rd} = \frac{\chi_T A f_y}{\gamma_{M0}} = 6076,818 \text{ kN}$$

- Posouzení na ohyb

Z-Z:

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{z,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,324 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 172,102 \text{ kNm}$$

$$1: \quad \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{7,0}{172,102} = 0,041 \text{ (4\%)} < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$2: \quad \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{30,0}{172,102} = 0,174 \text{ (18\%)} < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

y-y: klopení

součinitel klopení

- dle NB.3.2, ČSN EN 1993-1-1

$$L = 2500 \text{ mm}$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$k_y = 1,0$$

$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0,0 \text{ (protože } I_{fc} = I_{ft})$$

$$z_j = 0,45 \psi_f h_f = 0,0$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 1500} \sqrt{\frac{210000 \cdot 2,946 \cdot 10^{13}}{81000 \cdot 2,133 \cdot 10^6}} = 12,53$$

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 550}{1,0 \cdot 1500} \sqrt{\frac{210000 \cdot 1,025 \cdot 10^8}{81000 \cdot 2,133 \cdot 10^6}} = 12,86$$

$$z_g = z_a - z_s = 550 - 0 = 550 \text{ mm}$$

$$\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = 0,0 \text{ (} z_j = 0,0 \text{)}$$

- z tabulky NB.3.1, ČSN EN 1993-1-1

$$C_1 = 1,32$$

$$C_2 = 0,0$$

$$C_3 = 1,0$$

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right] = \\ &= \frac{1,32}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 12,53^2 + (0 \cdot 12,86 - 1,0 \cdot 0,0)^2} - (0 \cdot 12,86 - 0,0) \right] \\ &= 16,590 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 16,59 \frac{\pi \sqrt{210000 \cdot 1,025 \cdot 10^8 \cdot 81000 \cdot 2,133 \cdot 10^6}}{1500} = \\ &= 67035,461 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{f_y W_{y,el}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{235 \cdot 9,360 \cdot 10^6}{23162,401 \cdot 10^6}} = 0,186$$

Křivka klopení d  $\Rightarrow \alpha_{LT} = 0,76$ 

$$\Phi_{LT} = \frac{1}{2} [1 + \alpha (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,512$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 1,000$$

$$M_{el,y,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{y,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,0 \cdot 9,917 \cdot 10^6 \cdot 235}{1,0} = 2330,378 \text{ kNm}$$

- Posouzení na posouvající sílu

$$A_v \leq \eta h_w t_w = 1,0 \cdot 1044 \cdot 10 = 10440 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 10440 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{10440 \left( \frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 1416,471 \text{ kNm}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{983,73}{1416,471} = 0, \quad (17\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

- **Redukce ohybové únosnosti smykovým namáháním**

$$\rho = \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{Rd}} - 1 \right)^2 = \left( \frac{2 * 983,73}{1416,471} - 1 \right)^2 = 0,151$$

$$f_{y,red} = (1-\rho)f_y = (1-0,151)*235 = 199,44 \text{ MPa}$$

y-y:

$$M_{y,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{y,el} f_{y,red}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,0 * 9,917 * 10^6 * 199,44}{1,0} = 1977,865 \text{ kNm}$$

$$1: \quad \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{1520}{1977,865} = 0,769 \text{ (77\%)} < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$2: \quad \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{430}{1977,865} = 0,217 \text{ (22\%)} < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

- **Kombinace namáhání momenty a normálovou silou**

Interakční součinitele dle přílohy B – metoda 2

$$C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 0,6 + 0,4\Psi = 0,6 + 0,4*0,342 = 0,737$$

$$k_{yy} = 0,737$$

$$k_{yz} = 0,739$$

$$k_{zy} = 0,9995$$

$$k_{zz} = 0,739$$

Podmínky:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{M1} M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$0,018 + 0,737 * 0,77 + 0,739 * 0,041 = 0,616 \text{ (62\%)} < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{M1} M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$0,018 + 0,9995 * 0,77 + 0,739 * 0,041 = 0,818 \text{ (82\%)} < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

- **Posouzení průřezu „a“: zajištěný proti klopení, svařované I1200**

Z důvodu velkého smykového namáhání, které by značně snižovalo únosnost v ohybu, byla u profilu I1200 zvýšena šířka stojiny na 12 mm. Toto zvětšení zvětší rezervu ohybové únosnosti, neposune stojinu do vyšší třídy průřezu a přechod mezi šířkami nebude nijak zvlášť složitý na provedení.

Zatřídění průřezu:

- Ohýbaný průřez stojina
  - $c/t \leq 124\varepsilon = 124 * 1,0 = 124$
  - $c/t = (1200 - 28 * 2) / 12 = 95,33 \leq 124 \Rightarrow$  tř. 3
- pásnice
  - $c/t \leq 9\varepsilon = 9 * 1,0 = 9$
  - $c/t = (140 - 10/2) / 28 = 4,82 \leq 9 \Rightarrow$  tř. 1

Průřez třídy 3.

$$W_{el,y} = 1,147 * 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,z} = 7,329 * 10^5 \text{ mm}^3$$



y-y:

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{y,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,147 \cdot 10^7 \cdot 235}{1,0} = 2695,450 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{2245,02}{2695,450} = 0,833 \text{ (84\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Z-Z:

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{z,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,329 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 172,231 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{7,18}{172,231} = 0,040 \text{ (4\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Posouvající síla:

$$A_v \leq \eta h_w t_w = 1,0 \cdot 1144 \cdot 12 = 13728 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{13728 \left( \frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 1862,578 \text{ kNm}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{983,73}{1862,578} = 0,529 \text{ (53\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

&gt; 50% =&gt; redukce ohybové únosnosti

Redukce ohybové únosnosti smykovým namáháním:

$$\rho = \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{Rd}} - 1 \right)^2 = \left( \frac{2 \cdot 983,73}{1862,578} - 1 \right)^2 = 0,004$$

$$f_{y,red} = (1-\rho)f_y = (1-0,004) \cdot 235 = 234,06 \text{ MPa}$$

y-y:

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{y,el} f_{y,red}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,105 \cdot 10^7 \cdot 234,06}{1,0} = 2586,363 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} = \frac{2245,02}{2586,363} = 0,868 < 1,0 \text{ (87\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Podmínky:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_{y1} N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT1} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

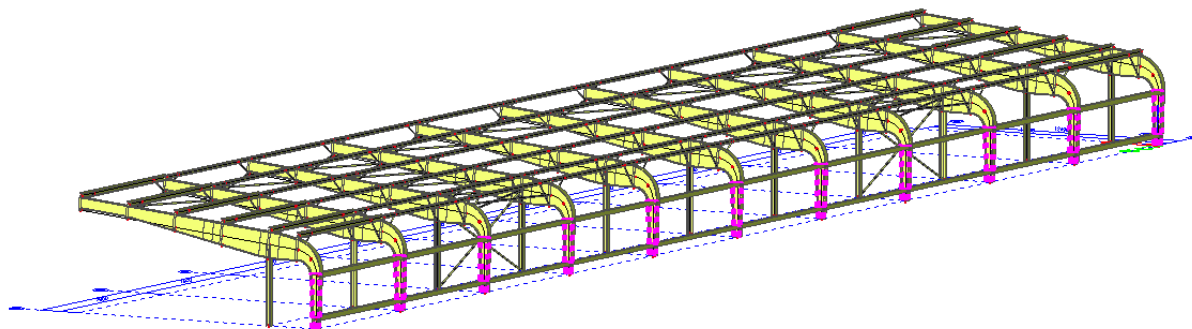
$$0,018 + 0,737 \cdot 0,868 + 0,739 \cdot 0,041 = 0,688 \text{ (69\%)} < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_{z1} N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT1} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$0,018 + 0,9995 \cdot 0,868 + 0,739 \cdot 0,041 = 0,916 \text{ (92\%)} < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Navržený proměnný průřez vyhoví na dané namáhání.

#### 4.3.6. POLE 6



Obr. 25 Poloha POLE6 v konstrukci

1:  $N_{c,max}$ : CO0/2

2:  $N_{t,max}$  (CO0/7)

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= - 617,74 \text{ kN} \\ M_{y,Ed,a} &= 0,00 \text{ kNm} \\ M_{y,Ed} &= - 120,00 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed,a} &= - 0,00 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= - 1,00 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= 909,75 \text{ kN} \\ M_{y,Ed,a} &= 0,00 \text{ kNm} \\ M_{y,Ed} &= 65,00 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed,a} &= 0,00 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= 2,00 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maximální posouvající síla:

$$V_{z,Ed} = 117,12 \text{ kN}$$

Průměrný průřez:

$$\begin{aligned} H_a &= 300 \text{ mm} & H_b &= 500 \text{ mm} \\ H &= 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Průřezové charakteristiky: svařované I400

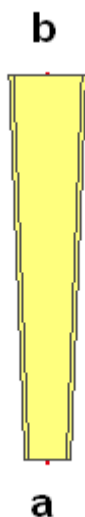
$$\begin{aligned} A &= 19120 \text{ mm}^2 \\ I_y &= 5,774 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 & i_y &= 173,8 \text{ mm} & L_{cr,y} &= 2500 \text{ mm} \\ I_z &= 1,025 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 & i_z &= 73,2 \text{ mm} & L_{cr,z} &= 2500 \text{ mm} \\ I_t &= 5,697 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \\ I_w &= 2,946 \cdot 10^{13} \text{ mm}^6 & i_0 &= 188,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{el,y} &= 2,887 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \\ W_{el,z} &= 7,319 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Zatřídění průřezu:

- Tlačený průřez stojina
  - $c/t \leq 124\varepsilon = 38 \cdot 1,0 = 38$
  - $c/t = (400 - 28 \cdot 2) / 10 = 34,4 \leq 38 \Rightarrow$  tř. 2
- pásnice
  - $c/t \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9$
  - $c/t = (140 - 10/2) / 28 = 4,82 \leq 9 \Rightarrow$  tř. 1

Pozn.: Průřez je součástí nosníku o proměnném průřezu, který se řeší, ve svém nejnepríznivějším místě jako průřez třídy 3. Podle zásad pro třídu 3 bude tedy provedeno posouzení pro všechny průřezy na tomto nosníku.



- **Posouzení narovinný vzpěr**

$$\lambda_1 = 93,9\epsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = 0,153$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = 0,364$$

y-y => vzpěr. křivka b,  $\alpha=0,34$

$$\Phi_y = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,504 \quad \chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 1,000$$

z-z => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$

$$\Phi_z = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,606 \quad \chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0,916$$

1:

$$N_{y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M0}} = 4493,200 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{617,74}{4493,200} = 0,138 \text{ (14\%)}$$

VYHOVÍ

$$N_{z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M0}} = 4115,771 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}} = \frac{617,74}{4115,771} = 0,150 \text{ (15\%)}$$

VYHOVÍ

- **Zkroucení**

$$L_{cr,T} = 2500 \text{ mm}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left( G I_t + \frac{\pi^2 E I_{\omega}}{L_{cr,T}^2} \right) \frac{1}{188,6^2} (81000 \cdot 5,697 \cdot 10^6 + \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 3,545 \cdot 10^{13}}{2500^2})$$

$$= \frac{1}{188,6^2} (4,615 \cdot 10^{11} + 1,176 \cdot 10^{12}) = 46039,156 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{f_y A}{N_{cr,T}}} = 0,312$$

kroucení => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$

$$\Phi_T = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2] = 0,576 \quad \chi_T = \frac{1}{\Phi_T + \sqrt{\Phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = 0,943$$

1:

$$N_{T,Rd} = \frac{\chi_T A f_y}{\gamma_{M0}} = 4237,087 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{T,Rd}} = \frac{617,74}{4237,087} = 0,146 \text{ (15\%)}$$

VYHOVÍ

- **Posouzení na tah**

2:

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = 4493,200 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{909,75}{4493,200} = 0,203 \text{ (20\%)}$$

VYHOVÍ

- **Posouzení na ohyb**

Z-Z:

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{z,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,323 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 172,098 \text{ kNm}$$

$$1: \quad \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{1,00}{172,098} = 0,006 \text{ (0,6\%)} < 1,0$$

VYHOVÍ

$$2: \quad \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{2,00}{172,098} = 0,012 \text{ (0,12\%)} < 1,0$$

VYHOVÍ

y-y: klopení

součinitel klopení

- dle NB.3.2, ČSN EN 1993-1-1

$$L = 2500 \text{ mm}$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$k_y = 1,0$$

$$\psi_f = \frac{l_{fc} - l_{ft}}{l_{fc} + l_{ft}} = 0,0 \text{ (protože } l_{fc} = l_{ft})$$

$$z_j = 0,45 \psi_f h_f = 0,0$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 2500} \sqrt{\frac{210000 \cdot 3,545 \cdot 10^{13}}{81000 \cdot 5,697 \cdot 10^6}} = 0,967$$

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 200}{1,0 \cdot 2500} \sqrt{\frac{210000 \cdot 1,025 \cdot 10^8}{81000 \cdot 5,697 \cdot 10^6}} = 1,040$$

$$z_g = z_a - z_s = 200 - 0 = 200 \text{ mm}$$

$$\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = 0,0 \text{ (} z_j = 0,0 \text{)}$$

- z tabulky NB.3.1, ČSN EN 1993-1-1

$$C_1 = 1,85$$

$$C_2 = 0,0$$

$$C_3 = 1,0$$

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right] = \\ &= \frac{1,85}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 0,967^2 + (0 \cdot 1,040 - 1,0 \cdot 0,0)^2} - (0 \cdot 1,040 - 0,0) \right] \\ &= 2,574 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 2,574 \frac{\pi \sqrt{210000 \cdot 1,025 \cdot 10^8 \cdot 81000 \cdot 2,192 \cdot 10^6}}{2500} = \\ &= 6175,133 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{f_y W_{y,el}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{235 \cdot 2,887 \cdot 10^6}{6175,133 \cdot 10^6}} = 0,331$$

Křivka klopení d  $\Rightarrow \alpha_{LT} = 0,76$ 

$$\Phi_{LT} = \frac{1}{2} [1 + \alpha (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,605$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,900$$

$$M_{el,y,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{y,el} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,900 \cdot 2,887 \cdot 10^6 \cdot 235}{1,0} = 610,747 \text{ kNm}$$

$$1: \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{120,00}{610,747} = 0,197 \text{ (20\%)} < 1,0$$

VYHOVÍ

$$2: \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{65,00}{610,747} = 0,107 \text{ (11\%)} < 1,0$$

VYHOVÍ

- **Posouzení na posouvající sílu**

$$A_V \leq \eta h_w t_w = 1,0 \cdot 344 \cdot 10 = 3440 \text{ mm}^2$$

$$A_V = 3440 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{3440 \left( \frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1,0} = 466,730 \text{ kNm}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{117,12}{466,730} = 0,251 \quad (25\%) < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

<50% není třeba snižovat únosnost v ohybu

- **Kombinace namáhání momenty a normálovou silou**

Interakční součinitele dle přílohy B – metoda 2

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1,0$$

Navržený průřez svařované I400 vyhoví na dané namáhání.

#### 4.3.7. MSP HLAVNÍHO NOSNÍKU

Podle výpočtu v programu Scia Engineer 2010.1, kombinace na mezní stav použitelnosti MSP jsou maximální průhyby (globální extrém):

- Svislý  $u_{z,max} = -74,9 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$  VYHOVÍ  
 $40,6 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$  VYHOVÍ

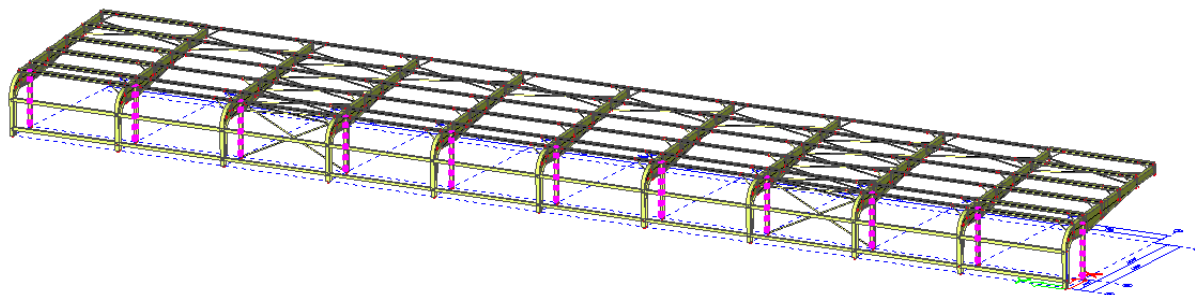
$$u_{z,max} \leq L/250 = 2 \cdot 10000/250 = 80,0 \text{ mm}$$

- Vodorovný  $u_{y,max} = 28,2 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$  VYHOVÍ

$$u_{y,max} \leq L/250 = 10000/250 = 40,0 \text{ mm}$$

Hlavní nosník, jako celek, vyhoví na mezní stav použitelnosti MSP.

## 4.4. PODPŮRNÝ SLOUP – HEB 220



Obr. 26 Poloha sloupu HEB220 v konstrukci

CO0/1:

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -1486,08 & \text{kN} \\ M_{y,Ed} &= -21,83 & \text{kNm} \\ M_{z,Ed} &= - & \text{kNm} \\ V_{z,Ed} &= 5,82 & \text{kN} \end{aligned}$$

Průřezové charakteristiky:

$$\begin{aligned} A &= 9104 & \text{mm}^2 \\ I_y &= 8,091 \cdot 10^7 & \text{mm}^4 & i_y = 94,3 \text{ mm} & L_{cr,y} = 7500 \text{ mm} \\ I_z &= 2,843 \cdot 10^7 & \text{mm}^4 & i_z = 55,9 \text{ mm} & L_{cr,z} = 3750 \text{ mm} \\ I_t &= 7,657 \cdot 10^5 & \text{mm}^4 \\ I_\omega &= 2,958 \cdot 10^{11} & \text{mm}^6 & i_0 = 109,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{pl,y} &= 8,280 \cdot 10^5 & \text{mm}^3 \\ W_{pl,z} &= 3,940 \cdot 10^5 & \text{mm}^3 \end{aligned}$$

Zatřídění průřezu:

- Tlačený průřez stojina

$$c/t \leq 33\varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73$$

$$c/t = (220 - 2 \cdot 16) / 10 = 18,8 \leq 26,73 \Rightarrow \text{tř. 1}$$

pásnice

$$c/t \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

$$c/t = 110 - (10/2) / 16 = 6,56 \leq 7,29 \Rightarrow \text{tř. 1}$$

Průřez třídy 1.

## • Posouzení narovinný vzpěr

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,059$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = 1,041$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = 0,878$$

y-y => vzpěr. křivka b,  $\alpha=0,34$ 

$$\Phi_y = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 1,185 \quad \chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0,571$$

z-z => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$ 

$$\Phi_z = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 1,052 \quad \chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0,613$$

$$N_{y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M0}} = 1845,524 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{1486,08}{1845,524} = 0,805 \text{ (81\%)}$$

VYHOVÍ

$$N_{z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M0}} = 1981,167 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}} = \frac{1486,08}{1981,167} = 0,75 \text{ (75\%)}$$

VYHOVÍ

- Zkroucení**

$$L_{cr,T} = 3750 \text{ mm}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left( G I_t + \frac{\pi^2 E I_{\omega}}{L_{cr,T}^2} \right) \frac{1}{109,6^2} (81000 * 7,657 * 10^5 + \frac{\pi^2 * 210000 * 2,958 * 10^{11}}{3750^2})$$

$$= \frac{1}{109,6^2} (6,202 * 10^{10} + 4,359 * 10^{10}) = 8793,961 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{f_y A}{N_{cr,T}}} = 0,606$$

zkroucení => vzpěr. křivka c,  $\alpha=0,49$

$$\Phi_T = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2] = 0,783 \quad \chi_T = \frac{1}{\Phi_T + \sqrt{\Phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = 0,782$$

$$N_{T,Rd} = \frac{\chi_T A f_y}{\gamma_{M0}} = 2527,361 \text{ kN} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{T,Rd}} = \frac{1486,080}{2527,361} = 0,588 \text{ (59\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

- Posouzení na ohyb**

Z-Z:

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{z,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,94 * 10^5 * 355}{1,0} = 139,870 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{0,0}{139,870} = 0,000 \text{ (0\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

y-y: klopení

součinitel klopení

- dle NB.3.2, ČSN EN 1993-1-1

$$L = 3750 \text{ mm}$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$k_y = 1,0$$

$$\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0,0 \text{ (protože } I_{fc} = I_{ft})$$

$$z_j = 0,45 \psi_f h_f = 0,0$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{E I_w}{G I_t}} = \frac{\pi}{1,0 * 3750} \sqrt{\frac{210000 * 2,958 * 10^{11}}{81000 * 7,657 * 10^5}} = 0,834$$

$$\zeta_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{E I_z}{G I_t}} = \frac{\pi * 110}{1,0 * 3750} \sqrt{\frac{210000 * 2,843 * 10^7}{81000 * 7,657 * 10^5}} = 0,904$$

$$z_g = z_a - z_s = 110 - 0 = 110 \text{ mm}$$

$$\zeta_j = \frac{\pi z_j}{k_z L} \sqrt{\frac{E I_z}{G I_t}} = 0,0 \text{ (} z_j = 0,0 \text{)}$$

- z tabulky NB.3.1, ČSN EN 1993-1-1

$$C_1 = 1,85$$

$$C_2 = 0,0$$

$$C_3 = 1,0$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j)^2} - (C_2 \zeta_g - C_3 \zeta_j) \right] =$$

$$= \frac{1,85}{1,0} \left[ \sqrt{1 + 0,834^2 + (0 * 0,904 - 1,0 * 0,0)^2} - (0 * 0,904 - 0,0) \right]$$

$$= 2,414$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 2,415 \frac{\pi \sqrt{210000 * 2,843 * 10^7 * 81000 * 7,657 * 10^5}}{3750} = 1230,705 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{f_y W_{y,pl}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{355 * 8,28 * 10^5}{1230,705 * 10^6}} = 0,489$$

Křivka klopení d =>  $\alpha_{LT} = 0,76$

$$\Phi_{LT} = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,729$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,787$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{y,pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,787 * 8,28 * 10^5 * 355}{1,0} = 231,407 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{21,83}{231,407} = 0,094 \text{ (9\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

- Posouzení na kombinaci ohybového momentu a normálové síly**

Pro průřezy musí být splněna podmínka:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1486,08}{1845,524} = 0,805 \quad n = 0,805 * 5 = 4,025$$

$$a = (A - 2b_t)/A = (9104 - 2 * 220 * 16)/9104 = 0,227$$

$$M_{y,N,Rd} = M_{y,pl,Rd} (1 - n)/(1 - 0,5a) = M_{y,pl,Rd} (1 - 0,805)/(1 - 0,5 * 0,227) = 0,22 M_{y,pl,Rd} = 0,22 * 231,407 = 50,910 \text{ kNm}$$

$$M_{N,y,Rd} = 50,910 \text{ kNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{z,pl,Rd} \left[ 1 - \left( \frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right] = M_{z,pl,Rd} \left[ 1 - \left( \frac{0,805-0,227}{1-0,227} \right)^2 \right] = 0,441 M_{z,pl,Rd} = 0,441 * 139,870 = 61,667 \text{ kNm}$$

$$M_{N,z,Rd} = 61,667 \text{ kNm}$$

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^{5n} \leq 1,0$$

$$\left[ \frac{21,83}{50,910} \right]^2 + \left[ \frac{0,000}{61,667} \right]^{4,025} \leq 1,0$$

$$0,19 + 0,00 \leq 1,0$$

$$0,19 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

Daný průřez je namáhán výhradně vzpěrným tlakem a na toto namáhání vyhoví s dostatečnou rezervou. Byl posouzen také profil HEB200, ten ale nevyhověl na namáhání vzpěrným tlakem.

Jako profil podpůrného sloupu byl navržen a posouzen profil HEB220. Tento profil vyhověl na veškeré uvažované namáhání.



#### 4.5. ZTUŽIDLA

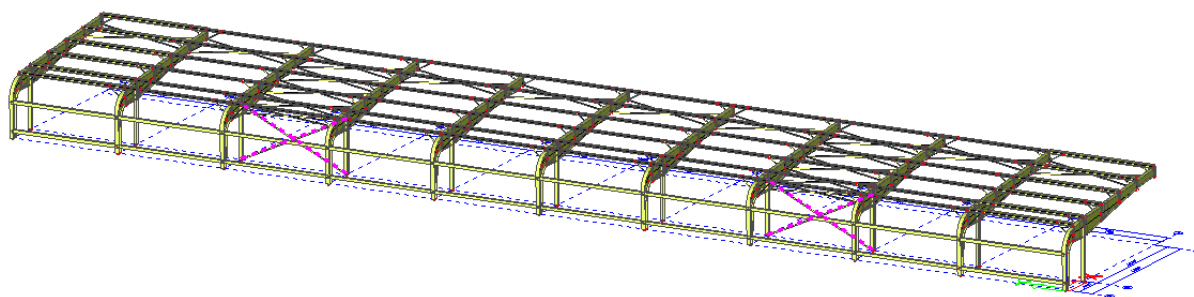
Materiálové vlastnosti:

Ocel S235 :

- mez kluzu  $f_y = 235$  MPa
- mez pevnosti  $f_u = 360$  MPa
- modul pružnosti  $E = 210\,000$  MPa
- modul pružnosti ve smyku  $G = 81\,000$  MPa
- objemová hmotnost  $\rho = 7850$  kg/m<sup>3</sup>
- poměr  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \varepsilon = 1,0$
- součinitele  $\gamma_{M0} = 1,00$   
 $\gamma_{M1} = 1,00$   
 $\gamma_{M2} = 1,25$

S235 byla zvolena s ohledem na mezní stav použitelnosti ztužidel.

##### 4.5.1. ZTUŽIDLO MEZI SLOUPY- ROR82.5/7.1



Obr. 27 Poloha ztužidla v konstrukci

$$\begin{aligned} N_{Ed,max} &= 356,17 && \text{kN} \\ M_{y,Ed,max} &= -1,13 && \text{kNm} \\ M_{z,Ed,max} &= - && \text{kNm} \\ V_{z,Ed} &= 0,52 && \text{kN} \end{aligned}$$

Průřezové charakteristiky:

$$\begin{aligned} d &= 82,5 && \text{mm} \\ t &= 7,1 && \text{mm} \\ A &= 1680 && \text{mm}^2 \\ I_y = I_z &= 1,210 \cdot 10^6 && \text{mm}^4 && i_y = i_z = 26,84 \text{ mm} \\ L &= 8300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda = L_{cr}/i_y = 8300/26,8 = 309,3 < 350 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Zatřídění průřezu:

$$d/t = 82,5/7,1 = 11,62 < 50\varepsilon^2 = 50 \cdot 1,0^2 = 50 \Rightarrow \text{třída 1}$$

##### • Posouzení v tahu

$$N_{t,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = 394,800 \text{ kN} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{356,17}{394,800} = 0,902 \text{ (90\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

##### • Posouzení na mezní stav použitelnosti

Dovolené mezní průhyby ztužidla

- Příklad kdy by průhyb mohl narušit vzhled konstrukce

$$\text{Svislý: } u_{z,mezni} = L/250 = 8300/250 = 33,2 \text{ mm}$$

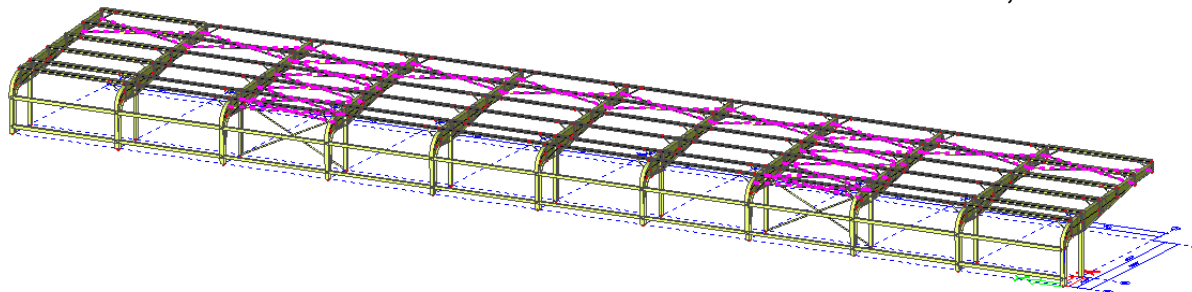
### Maximální průhyby (z výpočtu ze Scia Engineer 2010.1)

- Kombinace pro mezní stav použitelnosti

$$u_{z,max} = 5,8 \text{ mm} < u_{z,mezni} = 33,2 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Navržený profil vyhoví na oba mezní stavy, při daném namáhání.

### 4.5.2. ZTUŽIDLO VE STŘEŠNÍ ROVINĚ – ROR70/2,9



Obr. 28 Poloha ztužidla v konstrukci

$$\begin{aligned} N_{Ed,max} &= 116,00 && \text{kN} \\ M_{y,Ed,max} &= -1,13 && \text{kNm} \\ M_{z,Ed,max} &= - && \text{kNm} \\ V_{z,Ed} &= 0,52 && \text{kN} \end{aligned}$$

Průřezové charakteristiky:

$$\begin{aligned} d &= 70,0 && \text{mm} \\ t &= 2,9 && \text{mm} \\ A &= 611,0 && \text{mm}^2 \\ I_y = I_z &= 3,450 \cdot 10^5 && \text{mm}^4 \quad i_y = i_z = 23,76 \text{ mm} \\ L &= 8200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda = L_{cr}/i_y = 8200/23,76 = 345,12 < 350 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Zatřídění průřezu:

$$d/t = 70/2,9 = 24,14 < 50\epsilon^2 = 50 \cdot 1,0^2 = 50 \Rightarrow \text{třída 1}$$

#### • Posouzení v tahu

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = 143,585 \text{ kN} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{116,0}{143,585} = 0,808 \text{ (81\%)} \quad \text{VYHOVÍ}$$

#### • Posouzení na mezní stav použitelnosti

### Maximální průhyby (z výpočtu ze Scia Engineer 2010.1)

Ve výpisu ze Scia Engineer 2010.1 je průhyb ovlivněn průhybem hlavního nosníku.

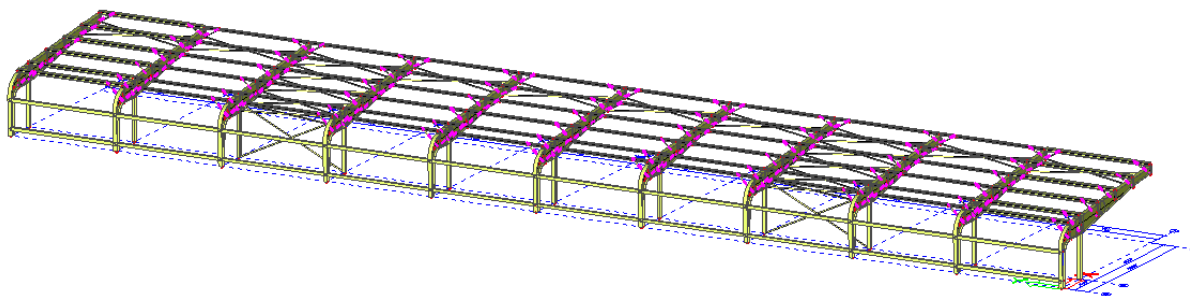
- Kombinace pro mezní stav použitelnosti

$$u_{z,max} < 40,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{což je podle autora přijatelné pro ztužidlo}$$

Navržený profil vyhoví na oba mezní stavy, při daném namáhání.

**4.6. PROFIL VZPĚREK – TRUBKA – 54/7,1 mm**

Profil vzpěrky je navržen jako bezešvá kruhová trubka o průměru 54 mm a tloušťce stěny 7,1 mm.

**Obr. 29 Umístění vzpěrek v konstrukci**

Materiálové vlastnosti:

Ocel S235 :

- mez kluzu  $f_y = 235 \text{ MPa}$
- mez pevnosti  $f_u = 360 \text{ MPa}$
- modul pružnosti  $E = 210\,000 \text{ MPa}$
- modul pružnosti ve smyku  $G = 81\,000 \text{ MPa}$
- objemová hmotnost  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
- poměr  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \varepsilon = 1,0$
- součinitele  $\gamma_{M0} = 1,00$   
 $\gamma_{M1} = 1,00$   
 $\gamma_{M2} = 1,25$

$$N_{Ed} = -115,020 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky:

$$\begin{aligned} d &= 54,0 \text{ mm} \\ t &= 7,1 \text{ mm} \\ A &= 1050 \text{ mm}^2 \\ I_y = I_z &= 2,940 \cdot 10^5 \text{ mm}^4 \quad i_y = i_z = 16,7 \text{ mm} \quad L_{cr,y} = 1600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Štíhlost prutu:

$$\lambda = L_{cr}/i_y = 1600/16,7 = 95,81 < 200$$

Zatřídění průřezu:

$$d/t = 54,0/7,1 = 7,6 < 50\varepsilon^2 = 50 \cdot 1,0^2 = 50 \Rightarrow \text{třída 1}$$

**4.6.1. POSOUZENÍ NA ROVINNÝ VZPĚR**

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \cdot 1,0 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = 1,018$$

y-y => vzpěr. křivka a,  $\alpha = 0,21$

$$\phi_y = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 1,104 \quad \chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0,653$$

$$N_{y,Rd} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M0}} = 161,078 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} = \frac{115,020}{161,078} = 0,714 \text{ (72\%)}$$

VYHOVÍ

Navržený profil vzpěrky vyhoví na dané namáhání. Profil by bylo možné optimalizovat, avšak jeho tuhost ovlivňuje rozložení vnitřních sil ve vaznicích a snížení této tuhosti by mohlo vést k nutnosti zvětšení profilu vaznice, což by bylo neekonomické.

## 5. SEZNAM VYBRANÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

1) malá písmena latinské abecedy:

$b$	šířka
$c$	rozměr průřezu pro zatřídění průřezu
$c_f$	součinitel síly
$c_{f,0}$	součinitel síly pro konstrukce nebo nosné prvky bez vlivu koncového efektu
$f_u$	mez pevnosti
$f_y$	mez kluzu
$h$	výška
$h_f$	vzdálenost těžišť pásnic
$i$	poloměr setrvačnosti
$k_r$	součinitel terénu
$k_w$	součinitel vzpěrné délky v kroucení
$k_y$	součinitel vzpěrné délky v ose $y$
$k_{yy}$	kombinační součinitel pro namáhání ohybovým momentem a normálovou silou
$k_{yz}$	kombinační součinitel pro namáhání ohybovým momentem a normálovou silou
$k_z$	součinitel vzpěrné délky v ose $z$
$k_{zy}$	kombinační součinitel pro namáhání ohybovým momentem a normálovou silou
$k_{zz}$	kombinační součinitel pro namáhání ohybovým momentem a normálovou silou
$q_b$	referenční dynamický tlak
$q_p$	maximální hodnota dynamického tlaku
$s$	základní hodnota zatížení sněhem pro danou oblast
$s_k$	charakteristická hodnota zatížení sněhem
$t$	tloušťka
$t_f$	tloušťka pásnice
$t_w$	tloušťka stojiny
$u$	posun v příslušné ose
$v_b$	základní rychlost větru
$v_{b,0}$	výchozí hodnota základní rychlosti větru
$v_m$	střední rychlost větru
$z$	výška
$z_0$	parametr drsnosti terénu
$z_e$	referenční výška pro zatížení vnějšího povrchu větrem
$z_i$	vzdálenost středu smyku od těžiště
$z_{min}$	minimální výška

## 2) velká písmena latinské abecedy

A	plocha
$A_v$	plocha přenášející smykovou sílu
$C_1$	součinitel rozdělení momentů
$C_2$	součinitel rozdělení momentů
$C_3$	součinitel rozdělení momentů
$C_{dir}$	součinitel směru
$C_e$	součinitel expozice
$C_{fr}$	součinitel tření
$C_{mLT}$	součinitele ekvivalentního konstantního momentu
$C_{my}$	součinitele ekvivalentního konstantního momentu
$C_{mz}$	součinitele ekvivalentního konstantního momentu
$C_o$	součinitel orografie
$C_{p,net}$	součinitel tlaku
$C_r$	součinitel drsnosti
$C_{season}$	součinitel ročního období
$C_t$	teplotní součinitel
E	modul pružnosti v tahu, tlaku
G	modul pružnosti ve smyku
H	výška
$I_t$	torzní moment setrvačnosti
$I_v$	intenzita turbulence
$I_y$	moment setrvačnosti k ose y-y
$I_z$	moment setrvačnosti k ose z-z
$I_\omega$	polární moment setrvačnosti
L	délka
$L_{cr}$	kritická délka
$L_e$	efektivní délka návětrného svahu
$L_u$	skutečná délka návětrného svahu
$M_{cr}$	kritický moment
$M_{N,Rd}$	ohybová únosnost redukováná normálovým namáháním
$M_{Rd,el}$	pružnostní únosnost v ohybovém momentu
$M_{Rd,pl}$	únosnost v ohybovém momentu
$M_y$	ohybový moment k ose y-y
$M_z$	ohybový moment k ose z-z
N	normálová síla
$N_{cr}$	kritická normálová síla
$N_{Rd,el}$	pružnostní únosnost na normálovou sílu (tah, tlak)
$N_{Rd,pl}$	únosnost na normálovou sílu (tah, tlak)
$V_{Rd}$	únosnost ve smyku
$V_z$	posouvající síla
$W_{el}$	pružnostní modul průřezu
$W_{pl}$	plastický modul průřezu

### 3) písmena řecké abecedy

$\lambda$	štíhlost
$\lambda_1$	hodnota štíhlosti pro výpočet poměrné štíhlosti
$\alpha$	sklon střešní roviny
$\gamma_G$	dílčí součinitel stálého zatížení
$\gamma_{M0}$	dílčí součinitel únosnosti průřezu kterékoli třídy
$\gamma_{M1}$	dílčí součinitel únosnosti průřezu při posuzování stability prutu
$\gamma_{M2}$	dílčí součinitel únosnosti průřezu při porušení v tahu
$\gamma_Q$	dílčí součinitel proměnného zatížení
$\varepsilon$	součinitel závisející na $f_y$
$\zeta$	zmenšovací součinitel bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku
$\zeta_q$	
$\zeta_i$	bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu
$\kappa_{wt}$	bezrozměrný parametr kroucení
$\mu_1$	Tvarový součinitel
$\mu_{cr}$	bezrozměrný kritický moment
$\rho$	objemová hmotnost
$\rho$	redukční součinitel
$\Phi$	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti $\chi$
$\varphi$	součinitel uzavřenosti přístřešku
$\varphi$	imperfekce ve tvaru globálního počátečního naklonění
$\chi$	součinitel vzpěru pro příslušnou křivku vzpěrné pevnosti
$\Psi_0$	kombinační součinitel pro proměnné zatížení
$\Psi_f$	parametr nesymetrie průřezu
$\Psi_\lambda$	Součinitel koncového efektu

### 4) Seznam použitých zkratk

ŽB	železobeton
MIN	minimum, minimálně
MAX	maximum, maximálně

## 6. SEZNAM ZDROJŮ

### Normy:

ČSN EN 1990:	Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
ČSN EN 1991-1-1:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
ČSN EN 1991-1-3:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
ČSN EN 1991-1-4:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
ČSN EN 1993-1-1:	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1993-1-8:	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků
ČSN EN ISO 12944-1-8:	Nátěrové hmoty – protikoroze ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy
ČSN ISO 8501-1-2:	Příprava ocelových povrchů před nanášením nátěrových hmot a obdobných výrobků

### Publikace, knihy:

- [1] NEUFERT, Ernst. *Navrhování staveb*. 2. české vydání. Praha: Consult Invest, 2000. ISBN 80-901459-6-6.
- [3] BÍLEK, Jaroslav. *Ocelová konstrukce zastřešení autobusového nádraží*. Brno, 2011. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí bakalářské práce Ing. Václav Röder.

### Internetové odkazy:

[www.ferona.cz](http://www.ferona.cz)  
[www.citankaok.wz.cz](http://www.citankaok.wz.cz)  
[www.detailyok.webnode.cz](http://www.detailyok.webnode.cz)



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## ZASTŘEŠENÍ TRIBUNY NA STADIONU

THE ROOFING OF TERRACES OF A STADIUM

### ČÁST 2.3: NÁVRH A POSOUZENÍ SPOJŮ

PART 2.3

PROPOSAL AND STRUCTURAL ANALYSIS OF A JOINTS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

#### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radek Bartoň

#### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JOSEF PUCHNER, CSc.



<b>Obsah:</b>	<b>str.</b>
<b>1. PŘIPOJENÍ VZPĚRKY</b>	<b>2-4</b>
1.1. SVAR NA STYČNÍKOVÉM PLECHU TRUBKY	2
1.2. ŠROUBOVÝ SPOJ VZPĚRKY	2
1.3. POSOUZENÍ SPOJOVACÍHO PLECHU	3
1.4. STYČNÍKOVÝ PLECH PŘIVAŘENÝ NA VAZNICI	3-4
1.5. VÝZTUHA HLAVNÍHO NOSNÍKU	4
<b>2. VĚTROVÉ ZTUŽIDLO</b>	<b>5-14</b>
2.1. ZTUŽIDLO STŘEŠNÍ ROVINY	5-6
2.1.1. STYČNÍKOVÝ PLECH TRUBKY	5
2.1.2. ŠROUBOVÝ SPOJ	5-6
2.1.3. SPOJOVACÍ PLECH (KŘÍŽENÍ ZTUŽIDLA)	6
2.2. ZTUŽIDLO MEZI SLOUPY	6-8
2.2.1. STYČNÍKOVÝ PLECH TRUBKY	6
2.2.2. ŠROUBOVÝ SPOJ	6-7
2.2.3. SVAROVÝ SPOJ PLECHU PŘIPOJENÉHO NA SLOUP	7-8
2.2.4. SPOJOVACÍ PLECH (KŘÍŽENÍ ZTUŽIDLA)	8
<b>3. VAZNICE</b>	<b>9-10</b>
3.1. ŠROUBOVÉ PŘIPOJENÍ VAZNIC NA HLAVNÍ NOSNÍK	9-10
<b>4. HLAVNÍ NOSNÍK</b>	<b>11-21</b>
4.1. KRČNÍ SVAR	11-12
4.2. ČEPOVÝ PŘÍPOJ HLAVNÍHO NOSNÍKU NA PODPŮRNÝ SLOUP	12-15
4.2.1. NÁVRH A POSOUZENÍ ČEPU	12-14
4.2.2. NÁVRH A POSOUZENÍ TUPÉHO SVARU PŘIPOJENÍ PLECHU	14-15
4.3. ČEPOVÝ PŘÍPOJ HLAVNÍHO NOSNÍKU K ŽB KONSTRUKCI	16-18
4.3.1. NÁVRH A POSOUZENÍ ČEPU	12-14
4.3.2. NÁVRH A POSOUZENÍ TUPÉHO SVARU PŘIPOJENÍ PLECHU	14-15
4.4. MONTÁŽNÍ SPOJ HLAVNÍHO NOSNÍKU	19-21
4.4.1. NÁVRH A POSOUZENÍ PŘÍLOŽEK A ŠROUBOVÉHO SPOJE PÁSNIC	19-20
4.4.2. NÁVRH A POSOUZENÍ PŘÍLOŽEK A ŠROUBOVÉHO SPOJE PÁSNIC	20-21
<b>5. KOTVENÍ K ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCI TRIBUNY</b>	<b>22-29</b>
5.1. KOTVENÍ ČEPOVÉHO SPOJE	22-24
5.2. VETKNUTÍ PODPŮRNÉHO SLOUPU	25-29
<b>6. SEZNAM ZNAČEK A SYMBOLŮ</b>	<b>29-30</b>
<b>7. SEZNAM ZDROJŮ</b>	<b>31</b>

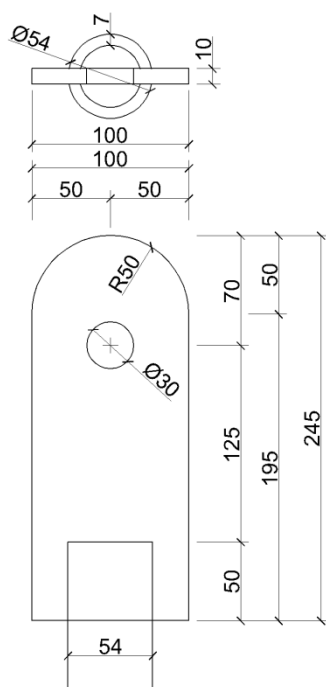
## 1. PŘIPOJENÍ VZPĚRKY

Materiálové vlastnosti:

Ocel S235 :

- mez kluzu  $f_y = 235$  MPa
- mez pevnosti  $f_u = 360$  MPa
- modul pružnosti  $E = 210\,000$  MPa
- modul pružnosti ve smyku  $G = 81\,000$  MPa
- objemová hmotnost  $\rho = 7850$  kg/m<sup>3</sup>
- poměr  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \varepsilon = 1,0$
- součinitele  $\gamma_{M0} = 1,00$   
 $\gamma_{M1} = 1,00$   
 $\gamma_{M2} = 1,25$

### 1.1. SVAR NA STYČNÍKOVÉM PLECHU TRUBKY



Obr. 1 Schéma připojení vzpěrky

$$F_{Rd,II} = \frac{f_u a L n}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} \geq N_{Ed} \quad N_{Ed} = 115,020 \text{ kN}$$

- $f_u = 360$  MPa
- $a = 4$  mm
- $L = 42$  mm (celková délka  $L_{prov} = L + 2a = 42 + 2 \cdot 4 = 50$  mm)
- $n = 4$  (počet svarů na spoji)
- $\beta_w = 0,8$  (pro S235)
- $\gamma_{M2} = 1,25$

$$F_{Rd,II} = \frac{f_u a L n}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 4 \cdot 42 \cdot 4}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 139,672 \text{ kN} > N_{Ed} = 115,020 \text{ kN} \text{ (83\%)} \\ \text{VYHOVÍ}$$

### 1.2. ŠROUBOVÝ SPOJ VZPĚRKY

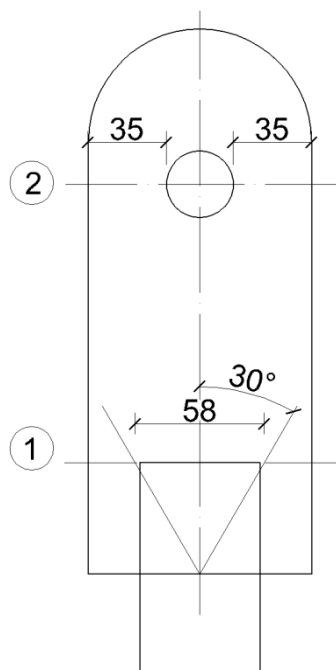
- šroub M27, 8.8:
  - $f_{yb} = 640$  MPa
  - $f_{ub} = 800$  MPa
  - $d_0 = 30$  mm
  - $A = 459$  mm<sup>2</sup>
- Únosnost ve stříhu:
  - $\alpha_v = 0,6$
  - $\gamma_{M2} = 1,25$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 459}{1,25} = 176,256 \text{ kN} > N_{Ed} = 115,020 \text{ kN} \text{ (66\%)}$$

- Únosnost v otláčení:
  - $e_1 = 70$  mm;  $e_2 = 50$  mm;  $d_0 = 30$  mm;  $d = 27$  mm
  - $t = 10$  mm
  - $f_u = 360$  MPa
  - $\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1,0) = \min(0,777; 2,222; 1,0) = 0,777$
  - $\alpha_d = e_1/3d_0 = 70/3 \cdot 30 = 0,667$
  - $k_1 = \min(2,8 \frac{e_2}{d_0}; 1,7; 2,5) = \min(2,967; 2,5) = 2,5$

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha_b k_1 f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{0,777 \cdot 2,5 \cdot 360 \cdot 27 \cdot 10}{1,25} = 151,049 \text{ kN} > N_{Ed} = 115,020 \text{ kN} \text{ (76\%)}$$

Dle ČSN EN 1993-1-8, 3.6.1 šrouby a nýty, odst. (11) se má pod šrouby třídy 8.8 pro jednostřížný přeplátovaný spoj s jedním šroubem vložit kalená podložka.



Obr. 2 Schéma pro zjednodušené posouzení spojovacího plechu

**1.3. POSOUZENÍ SPOJOVACÍHO PLECHU:**

○ Řez 1:

- $A_1 = 58 \cdot 10 = 580 \text{ mm}^2$
- $f_y = 235 \text{ MPa}$
- $\gamma_{M0} = 1,00$

$$F_{Rd} = A_1 \cdot f_y / \gamma_{M0} = 580 \cdot 235 / 1,0 = 136,300 \text{ kN} > 115,020 \text{ kN} \text{ (85\%)} \\ \text{VYHOVÍ}$$

○ Řez 2:

- $A_{ef} = 2 \cdot 35 \cdot 10 = 700 \text{ mm}^2$
- $\gamma_{M2} = 1,25$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 f_u A_{ef}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360 \cdot 700}{1,25} = 181,440 \text{ kN} > 115,020 \text{ kN} \text{ (64\%)} \\ \text{VYHOVÍ}$$

Navržené svary, šroubový spoj a spojovací plechy vyhoví na dané namáhání. Stejně bude proveden spoj i na ostatních vzpěrkách.

**1.4. STYČNÍKOVÝ PLECH PŘIVAŘENÝ NA HLAVNÍ NOSNÍK**

Přípojný plech:

Tloušťka plechu je 10 mm, jako v předešlém výpočtu, a jsou dodrženy vzdálenosti od okrajů plechu. Únosnost plechu bude srovnatelná s únosností plechu ve výpočtu 2.3. Podmínky pro šroubový spoj jsou rovněž zachovány – šroub M27, 8.8

Návrh a posouzení připojení plechu na vaznici:

$$N_{Ed} = 116,000 \text{ kN}$$

$$\alpha = 24 - 48^\circ \text{ od vodorovné}$$

pro  $24^\circ$ :

$$N_x = \cos \alpha \cdot N_{Ed} = \cos 24,0^\circ \cdot 115,020 = 105,076 \text{ kN}$$

$$\tau_{II} = \frac{N_x}{a \cdot L \cdot 2} = \frac{105,076 \cdot 10^3}{3 \cdot L \cdot 2} = 17512,666 L$$

$$N_z = \sin \alpha \cdot N_{Ed} = \sin 24,0^\circ \cdot 115,020 = 46,783 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\cos 45^\circ \cdot N_z}{a \cdot L \cdot 2} = \frac{\cos 45^\circ \cdot 46,783 \cdot 10^3}{3 \cdot L \cdot 2} = 5513,412 L$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{II}^2} = \sqrt{\frac{5513,412^2}{L^2} + \frac{3 \cdot 5513,412^2}{L^2} + \frac{3 \cdot 17512,666^2}{L^2}} = \\ = \frac{32274,420}{L} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa}$$

$$L = \frac{32274,420}{360,0} = 90,0 \text{ mm} \Rightarrow L_{\min} = L + 2a = 90 + 2 \cdot 3 = 96,0 \text{ mm} < 255 \text{ mm}$$

pro  $48^\circ$ :

$$N_x = \cos \alpha \cdot N_{Ed} = \cos 48,0^\circ \cdot 115,020 = 76,963 \text{ kN}$$

$$\tau_{II} = \frac{N_x}{a \cdot L \cdot 2} = \frac{76,963 \cdot 10^3}{3 \cdot L \cdot 2} = 12827,234 L$$

$$N_z = \sin \alpha \cdot N_{Ed} = \sin 48,0^\circ \cdot 115,020 = 85,477 \text{ kN}$$

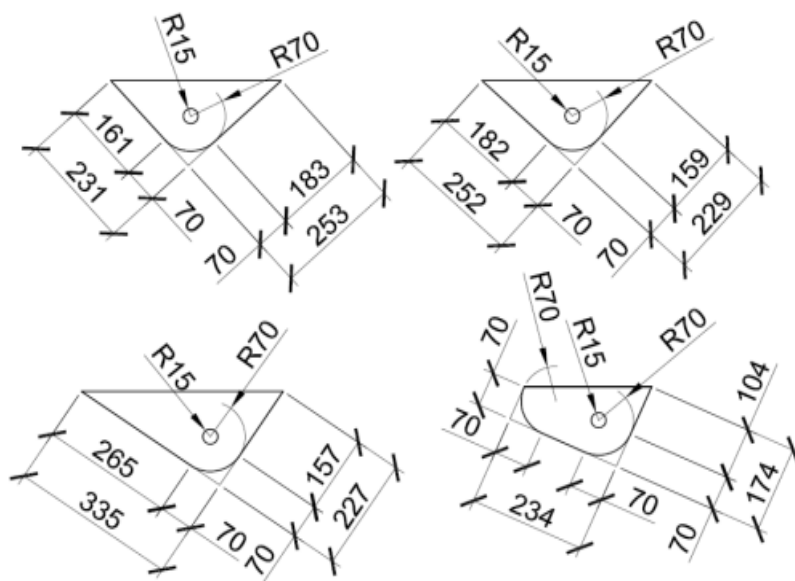
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\cos 45^\circ \cdot N_z}{a \cdot L \cdot 2} = \frac{\cos 45^\circ \cdot 85,477 \cdot 10^3}{3 \cdot L \cdot 2} = 10073,504 L$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{II}^2} = \sqrt{\frac{10073,504^2}{L^2} + \frac{3 * 10073,504^2}{L^2} + \frac{3 * 12827,234^2}{L^2}} =$$

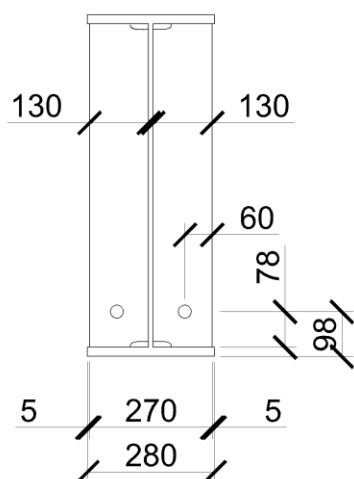
$$= \frac{29991,928}{L} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360,0 \text{ MPa}$$

$$L = \frac{29991,928}{360,0} = 84 \text{ mm} \quad \Rightarrow L_{\min} = L + 2a = 84 + 2 * 3 = 90 \text{ mm} < 255 \text{ mm}$$

Svar připojení plechu na vaznici bude proveden na celou délku stykové hrany (360 mm) o výšce svaru  $a = 3 \text{ mm}$ . Takto provedený svar bude bezpečný pro všechny kombinace síly a sklonu vzpěrky a bude také schopen přenést sekundární účinky vzniklé excentricitou šroubového připoje a svaru.



Obr. 3 Schéma přípojného plechu na vaznici



Obr. 4 Schéma výztuhy hlavního nosníku

### 1.5. VÝZTUHA HLAVNÍHO NOSNÍKU

Výztuha je provedena pro připojení vzpěrky k hlavnímu nosníku. Tvořena je plechem tloušťky 10 mm a přivařena je swarem o výšce  $a = 3 \text{ mm}$ . V rozích u svaru stojiny a pásnic hlavního nosníku je provedeno vybrání, aby nevznikaly nebezpečné vruby. Šířka výztuhy je 130 mm a výška je shodná s výškou stojiny v místě připojení. Umístění díry pro šroubový spoj je voleno tak, aby bylo možno vzpěrkou otáčet a byl tak splněn předpoklad pro kloubové spojení a zároveň aby bylo možno předpokládat minimálně stejnou únosnost šroubového spoje jako ve výpočtu 1.2. (schéma vzpěrky viz. obr. 4).

**2. ZTUŽIDLA****2.1. ZTUŽIDLO STŘEŠNÍ ROVINY**

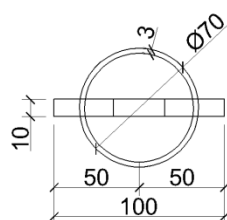
Materiálové vlastnosti:

Ocel S235 :

- mez kluzu  $f_y = 235$  MPa
- mez pevnosti  $f_u = 360$  MPa
- modul pružnosti  $E = 210\,000$  MPa
- modul pružnosti ve smyku  $G = 81\,000$  MPa
- objemová hmotnost  $\rho = 7850$  kg/m<sup>3</sup>
- poměr  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \varepsilon = 1,0$
- součinitele  $\gamma_{M0} = 1,00$   
 $\gamma_{M1} = 1,00$   
 $\gamma_{M2} = 1,25$

**2.1.1. STYČNÍKOVÝ PLECH TRUBKY**

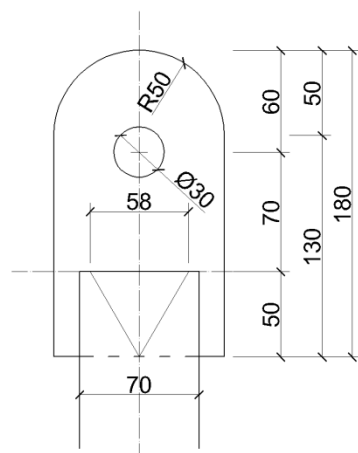
$$F_{Rd,II} = \frac{f_u a L n}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} \geq N_{Ed} \quad N_{Ed} = 116,000 \text{ kN}$$



- $f_u = 360$  MPa
- $a = 5$  mm
- $L = 40$  mm (celková délka  $L_{prov} = L + 2a = 40 + 2 \cdot 5 = 50$  mm)
- $n = 4$  (počet svarů na spoji)
- $\beta_w = 0,8$  (pro S235)
- $\gamma_{M2} = 1,25$

$$F_{Rd,II} = \frac{f_u a L n}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 5 \cdot 40 \cdot 4}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 166,277 \text{ kN} > N_{Ed} = 116,000 \text{ kN} \text{ (70\%)}$$

VYHOVÍ

Obr. 5 Schéma připojení  
ztužidla

- Únosnost oslabeného plechu

○ Řez 1:

- $A_1 = 58 \cdot 10 = 580 \text{ mm}^2$
- $f_y = 235 \text{ MPa}$
- $\gamma_{M0} = 1,00$

$$F_{Rd} = A_1 \cdot f_y / \gamma_{M0} = 580 \cdot 235 / 1,0 = 136,300 \text{ kN} > 116,000 \text{ kN} \text{ (85\%)}$$

VYHOVÍ

○ Řez 2:

- $A_{ef} = 2 \cdot 35 \cdot 10 = 700 \text{ mm}^2$
- $\gamma_{M2} = 1,25$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 f_u A_{ef}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360 \cdot 700}{1,25} = 181,440 \text{ kN} > 116,000 \text{ kN} \text{ (64\%)}$$

VYHOVÍ

**2.1.2. ŠROUBOVÝ SPOJ**

– šroub M27, 8.8:

- $f_{yb} = 640$  MPa
- $f_{ub} = 800$  MPa
- $d_0 = 30$  mm
- $A = 459$  mm<sup>2</sup>

– Únosnost ve střihu:

- $\alpha_v = 0,6$
- $\gamma_{M2} = 1,25$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 459}{1,25} = 176,256 \text{ kN} > N_{Ed} = 116,000 \text{ kN} \text{ (66\%)}$$

- Únosnost v otlacení:
  - $e_1 = 60 \text{ mm}$ ;  $e_2 = 50 \text{ mm}$ ;  $d_0 = 30 \text{ mm}$ ;  $d = 27 \text{ mm}$
  - $t = 10 \text{ mm}$
  - $f_u = 360 \text{ MPa}$
  - $\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1,0) = \min(0,667; 2,222; 1,0) = 0,667$
  - $\alpha_d = e_1/3d_0 = 60/3 \cdot 30 = 0,667$
  - $k_1 = \min(2,8 \frac{e_2}{d_0}; 1,7; 2,5) = \min(2,967; 2,5) = 2,5$

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha_b k_1 f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{0,667 \cdot 2,5 \cdot 360 \cdot 27 \cdot 10}{1,25} = 129,665 \text{ kN} > N_{Ed} = 116,000 \text{ kN}$$

(89%)

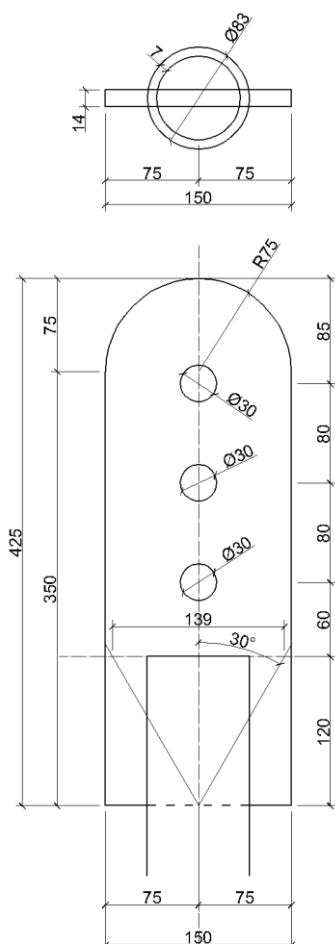
Dle ČSN EN 1993-1-8, 3.6.1 šrouby a nýty, odst. (11) se má pod šrouby třídy 8.8 pro jednostřížný překládaný spoj s jedním šroubem vložit kalená podložka.

### 2.1.3. SPOJOVACÍ PLECH

- Únosnost oslabeného plechu
  - $A_{ef} = 120 \cdot 10 - 30 \cdot 10 = 900 \text{ mm}^2$
  - $\gamma_{M2} = 1,25$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 f_u A_{ef}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360 \cdot 900}{1,25} = 233,280 \text{ kN} > 116,000 \text{ kN (50%)}$$

VYHOVÍ



### 2.2. ZTUŽIDLO MEZI SLOUPY

Materiálové vlastnosti:

Ocel S235 :

- mez kluzu  $f_y = 235 \text{ MPa}$
- mez pevnosti  $f_u = 360 \text{ MPa}$
- modul pružnosti  $E = 210\,000 \text{ MPa}$
- modul pružnosti ve smyku  $G = 81\,000 \text{ MPa}$
- objemová hmotnost  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
- poměr  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \varepsilon = 1,0$
- součinitele
  - $\gamma_{M0} = 1,00$
  - $\gamma_{M1} = 1,00$
  - $\gamma_{M2} = 1,25$

#### 2.2.1. STYČNÍKOVÝ PLECH TRUBKY

$$F_{Rd,II} = \frac{f_u a L n}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} \geq N_{Ed} \quad N_{Ed} = 356,17 \text{ kN}$$

- $f_u = 360 \text{ MPa}$
- $a = 5 \text{ mm}$
- $L = 110 \text{ mm}$  (celková délka  $L_{prov} = L + 2a = 110 + 2 \cdot 5 = 120 \text{ mm}$ )
- $n = 4$  (počet svarů na spoji)
- $\beta_w = 0,8$  (pro S235)
- $\gamma_{M2} = 1,25$

$$F_{Rd,II} = \frac{f_u a L n}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360 \cdot 5 \cdot 110 \cdot 4}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 457,261 \text{ kN} > N_{Ed} = 356,17 \text{ kN (78%)}$$

VYHOVÍ

Obr. 6 Schéma připojení ztužidla

**2.2.2. ŠROUBOVÝ SPOJ**

– šroub M27, 8.8:

- $f_{yb} = 640$  MPa
- $f_{ub} = 800$  MPa
- $d_0 = 30$  mm
- $A = 459$  mm<sup>2</sup>

– Únosnost ve stříhu:

- $\alpha_v = 0,6$
- $\gamma_{M2} = 1,25$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 459}{1,25} = 176,256 \text{ kN} \Rightarrow 3 \text{ šrouby}$$

$$\frac{N_{Ed}}{n \cdot F_{v,Rd}} = \frac{356,17}{3 \cdot 176,256} = 0,674 < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ (68\%)}$$

– Únosnost v otláčení:

- $e_1 = 50$  mm;  $e_2 = 75$  mm;  $p_1 = 80$  mm
- $d_0 = 30$  mm;  $d = 27$  mm
- $t = 14$  mm
- $f_u = 490$  MPa
- $\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1,0) = \min(0,833; 2,222; 1,0) = 0,833$
- $\alpha_d = \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25) = \min(0,777; 0,639) = 0,639$
- $k_1 = \min(2,8 \frac{e_2}{d_0}; 1,7; 2,5) = \min(5,3; 2,5) = 2,5$

$$F_{b,Rd} = \frac{n \alpha_b k_1 f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{3 \cdot 0,639 \cdot 2,5 \cdot 360 \cdot 27 \cdot 14}{1,25} = 521,730 \text{ kN} > N_{Ed} = 356,170 \text{ kN}$$

VYHOVÍ (69%)

– Únosnost oslabeného průřezu spojky

$$A = 139 \cdot 14 = 1946 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 120 \cdot 14 = 1680 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0} = 1946 \cdot 235 / 1,0 = 457,3100 \text{ kN} > N_{Ed} = 356,170 \text{ kN} \quad (78\%)$$

Oslabený průřez:

$$N_{u,Rd} = 0,9 A_{net} f_u / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 1680 \cdot 360 / 1,25 = 435,456 \text{ kN} > N_{Ed} = 356,170 \text{ kN}$$

(82%)

**2.2.3. SVAROVÝ SPOJ PLECHU PŘIPOJENÉHO NA SLOUP**

$$N_{Ed} = 356,17 \text{ kN} \quad \alpha = 19^\circ$$

$$N_{Ed,z} = \sin \alpha \cdot N_{Ed} = \sin 19^\circ \cdot 356,17 = 115,958 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,y} = \cos \alpha \cdot N_{Ed} = \cos 19^\circ \cdot 356,17 = 336,965 \text{ kN}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

Zjednodušené posouzení pro jednotlivé síly:

$$l_{z,eff} = 105 - 2 \cdot 5 = 95 \text{ mm} \quad A_{z,eff} = 2 \cdot 95 \cdot 5 = 950 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\parallel} = \frac{\cos 45^\circ \cdot N_{Ed,z}}{a \cdot L \cdot 2} = \frac{\cos 45^\circ \cdot 115,958 \cdot 10^3}{950} = 86,311 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{86,311^2 + 3 \cdot 86,311^2 + 0} = 172,622 \text{ MPa}$$

$$\leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ (48%)

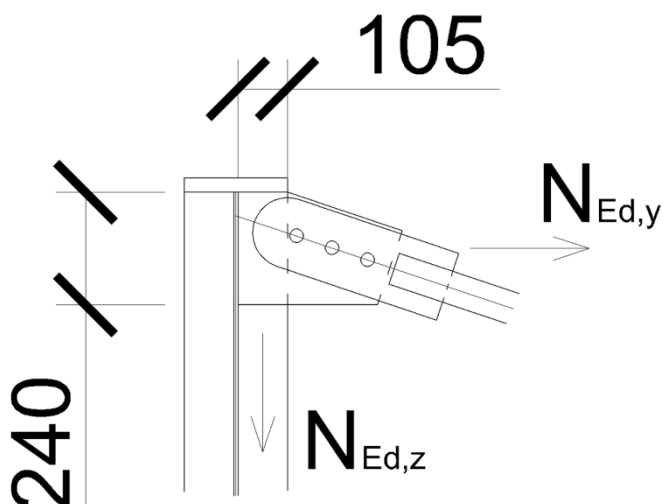
$$I_{\text{eff}} = 240 - 2 \cdot 5 = 230 \text{ mm} \quad A_{z,\text{eff}} = 2 \cdot 230 \cdot 5 = 2300 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\parallel} = \frac{\cos 45^\circ \cdot N_{Ed,z}}{a \cdot L \cdot 2} = \frac{\cos 45^\circ \cdot 336,965 \cdot 10^3}{2300} = 103,596 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{103,596^2 + 3 \cdot 103,596^2 + 0} = 207,192 \text{ MPa}$$

$$\leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ (58%)



Obr. 7 Působení normálové síly na svarový spoj

#### 2.2.4. SPOJOVACÍ PLECH (KŘÍŽENÍ ZTUŽIDEL)

- Únosnost oslabeného průřezu spojky

$$A = 150 \cdot 14 = 2100 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{net}} = 120 \cdot 14 = 1680 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0} = 2100 \cdot 235 / 1,0 = 493,500 \text{ kN} > N_{Ed} = 356,170 \text{ kN} \text{ (73\%)}$$

Oslabený průřez:

$$N_{u,Rd} = 0,9 A_{\text{net}} f_u / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 1680 \cdot 360 / 1,25 = 435,456 \text{ kN} > N_{Ed} = 356,170 \text{ kN} \text{ (82\%)}$$



**3. SPOJENÍ VAZNIC NAD HLAVNÍM NOSNÍKEM**

- $N_{Ed} = 95,00 \text{ kN}$   
 $F_{t,Ed} = 10,00 \text{ kN}$  (předpokládaná možná tahová síla na šroub)

- šroub M16, 8.8:
  - $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$
  - $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$
  - $d_0 = 18 \text{ mm}$
  - $A_s = 157 \text{ mm}^2$
- Únosnost ve střihu:
  - $\alpha_v = 0,6$
  - $\gamma_{M2} = 1,25$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 800 * 157}{1,25} = 60,280 \text{ kN}$$

$$n = N_{Ed} / F_{v,Rd} = 95,00 / 60,280 = 1,576 \Rightarrow 2 \text{ šrouby}$$

$$F_{v,Rd} = 120,560 \text{ kN} > N_{Ed} = 95,00 \text{ kN} \text{ (79\%)}$$

- Únosnost v otláčení:
  - $p_1 = 60,0 \text{ mm}; e_1 = 40 \text{ mm}; e_2 = 30 \text{ mm};$
  - $d_0 = 18 \text{ mm}; d = 16 \text{ mm}$
  - $t = 6 \text{ mm (HEA160)}$
  - $f_u = 490 \text{ MPa}$
  - $\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1,0) = \min(0,944; 1,633; 1,0) = 0,944$
  - $\alpha_d = \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25) = \min(0,740; 0,861) = 0,740$
  - $k_1 = \min(2,8 \frac{e_2}{d_0}; 1,7; 2,5) = \min(2,966; 2,5) = 2,5$

$$F_{b,Rd} = \frac{n \alpha_b k_1 f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,0 * 0,740 * 2,5 * 490 * 16 * 6}{1,25} = 139,238 \text{ kN} > N_{Ed} = 95,00 \text{ kN} \text{ (68\%)}$$

- Únosnost šroubu v tahu:
  - $k_2 = 0,9$  -
  - $A_s = 157 \text{ mm}^2$
  - $\gamma_{M2} = 1,25$  -
  - $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

$$F_{t,Rd} = \frac{n k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{2,0 * 0,9 * 800 * 157}{1,25} = 180,864 \text{ kN} < 10 \text{ kN (6\%)}$$

- Únosnost šroubu v protlačení:
  - $d_m = 25,9 \text{ mm}$
  - $t_p = 6,0 \text{ mm}$
  - $f_u = 490 \text{ MPa}$
  - $\gamma_{M2} = 1,25$  -

$$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2} = 0,6 * \pi * 25,9 * 6 * 490 / 1,25 = 114,825 \text{ kN} > 10 \text{ kN (9\%)}$$

- Kombinace střihu a tahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Rd}}{1,4 * F_{t,Rd}} = \frac{95,0}{120,560} + \frac{10,0}{1,4 * 180,864} = 0,83 < 1,0$$

VYHOVÍ

- Únosnost oslabeného průřezu spojky

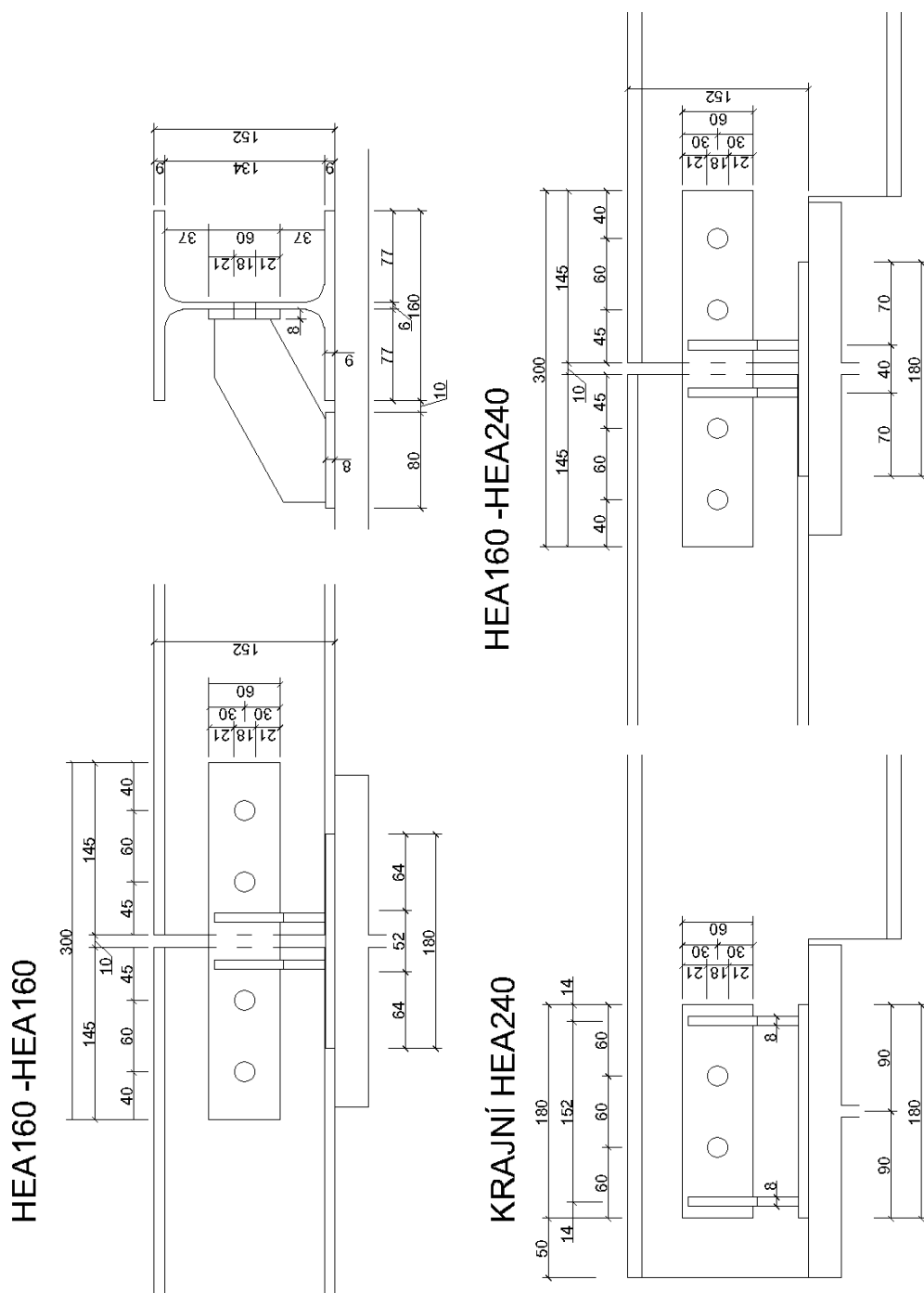
$$A = 60 * 8 = 480 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 42 * 8 = 336 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0} = 480 * 355 / 1,0 = 170,40 \text{ kN} > N_{Ed} = 95,00 \text{ kN (56\%)}$$

Oslabený průřez:

$$N_{u,Rd} = 0,9 A_{net} f_u / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 560 \cdot 490 / 1,25 = 118,541 \text{ kN} > N_{Ed} = 95,00 \text{ kN} \quad (80\%)$$



Obr. 8 Schéma připojení vaznice na hlavní nosník

Navržené šrouby M27, 8.8 a spojka vyhoví na dané namáhání šroubového spoje připojení vaznice při dané geometrii spoje.

#### 4. HLAVNÍ NOSNÍK

##### 4.1. KRČNÍ SVAR HLAVNÍHO NOSNÍKU

Zatížení krčního svaru se odvodí z Grashofova vzorce smyku za ohybu. Z věty o vzájemnosti smykových napětí poté vyplývá, že krční svary přenášejí napětí:

$$\tau_{II} = \frac{VS_{f,y}}{I_y 2a}$$

Posouzení v jednotlivých polích pro maximální posouvající sílu a minimální průřez:

Je třeba započítat redukční součinitel  $\beta_{LW,2}$ , který zohledňuje délku svaru.

$L =$  cca 14,9 m

$$\beta_{LW,2} = 1,1 - L_w/17 = 1,1 - 14,9/17 = 0,224 \quad \begin{matrix} < 1,0 \\ > 0,6 \end{matrix}$$

$$\beta_{LW,2} = 0,6$$

Únosnost svaru:

$$\tau_{II} < \frac{\beta_{LW,2} f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 124,71 \text{ MPa}$$

POLE1:	$V_{\max} =$	57,71	kN
I500	$I_y =$	$7,266 \cdot 10^8$	mm <sup>4</sup>
$t_f = 20 \text{ mm}$	$S_{f,y} =$	$1,344 \cdot 10^6$	mm <sup>3</sup>
	$a =$	5,0	mm

$$\tau_{II} = \frac{VS_{f,y}}{I_y 2a} = \frac{57,71 \cdot 10^3 \cdot 1,344 \cdot 10^6}{7,266 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 5} = 10,675 < 124,71 \text{ MPa VYHOVÍ (9\%)}$$

POLE2:	$V_{\max} =$	169,200	kN
I500	$I_y =$	$7,266 \cdot 10^8$	mm <sup>4</sup>
$t_f = 20 \text{ mm}$	$S_{f,y} =$	$1,344 \cdot 10^6$	mm <sup>3</sup>
	$a =$	5,0	mm

$$\tau_{II} = \frac{VS_{f,y}}{I_y 2a} = \frac{169,200 \cdot 10^3 \cdot 1,344 \cdot 10^6}{7,266 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 5} = 31,297 < 124,71 \text{ MPa VYHOVÍ (25\%)}$$

POLE3:	$V_{\max} =$	284,50	kN
I750	$I_y =$	$1,791 \cdot 10^9$	mm <sup>4</sup>
$t_f = 20 \text{ mm}$	$S_{f,y} =$	$2,044 \cdot 10^6$	mm <sup>3</sup>
	$a =$	5,0	mm

$$\tau_{II} = \frac{VS_{f,y}}{I_y 2a} = \frac{284,50 \cdot 10^3 \cdot 2,044 \cdot 10^6}{1,791 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 5} = 32,469 < 124,71 \text{ MPa VYHOVÍ (26\%)}$$

POLE4:	$V_{\max} =$	402,51	kN
I1000	$I_y =$	$4,405 \cdot 10^9$	mm <sup>4</sup>
$t_f = 28 \text{ mm}$	$S_{f,y} =$	$3,811 \cdot 10^6$	mm <sup>3</sup>
	$a =$	5,0	mm

$$\tau_{II} = \frac{VS_{f,y}}{I_y 2a} = \frac{402,51 \cdot 10^3 \cdot 3,811 \cdot 10^6}{4,405 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 5} = 34,824 < 124,71 \text{ MPa VYHOVÍ (28\%)}$$

POLE5:	$V_{\max} =$	983,73	kN
I1000	$I_y =$	$4,405 \cdot 10^9$	mm <sup>4</sup>
$t_f = 28 \text{ mm}$	$S_{f,y} =$	$3,811 \cdot 10^6$	mm <sup>3</sup>
	$a =$	5,0	mm

$$\tau_{II} = \frac{VS_{f,y}}{I_y 2a} = \frac{983,73 \cdot 10^3 \cdot 3,811 \cdot 10^6}{4,405 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 5} = 85,108 < 124,71 \text{ MPa VYHOVÍ (69\%)}$$

POLE6:	$V_{\max} =$	117,10	kN
I300	$I_y =$	$3,032 \cdot 10^8$	$\text{mm}^4$
$t_f = 28 \text{ mm}$	$S_{f,y} =$	$1,067 \cdot 10^6$	$\text{mm}^3$
	$a =$	5,0	mm

$$\tau_{II} = \frac{VS_{f,y}}{I_y 2a} = \frac{117,10 \cdot 10^3 \cdot 1,067 \cdot 10^6}{3,032 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 5} = 41,209 < 124,71 \text{ MPa VYHOVÍ (33\%)}$$

Navržený svar vyhoví na dané namáhání. Výška svaru pro tloušťku spojovaných prvků je omezena konstrukčními zásadami na, v tomto případě, 5 mm pro prvky tloušťky větší než 21 mm.

#### 4.2. ČEPOVÝ PŘÍPOJ HLAVNÍHO NOSNÍKU NA PODPŮRNÝ SLOUP

$F_{v,Ed,z,\max} =$	-1429,14	kN	(tlak)
$F_{v,Ed,z,\max} =$	- 892,91	kN	(tah)
$F_{v,Ed,x,\max} =$	++ 6,82	kN	
$F_{v,Ed,y,\max} =$	++ 1,45	kN	

Výslednice sil přenášených smykem a otláčením:

$F_{v,Ed} = 1429,156 \text{ kN (tlak)}$

$F_{v,Ed} = 892,936 \text{ kN (tah)}$

##### 4.2.1. NÁVRH A POSOUZENÍ ČEPU

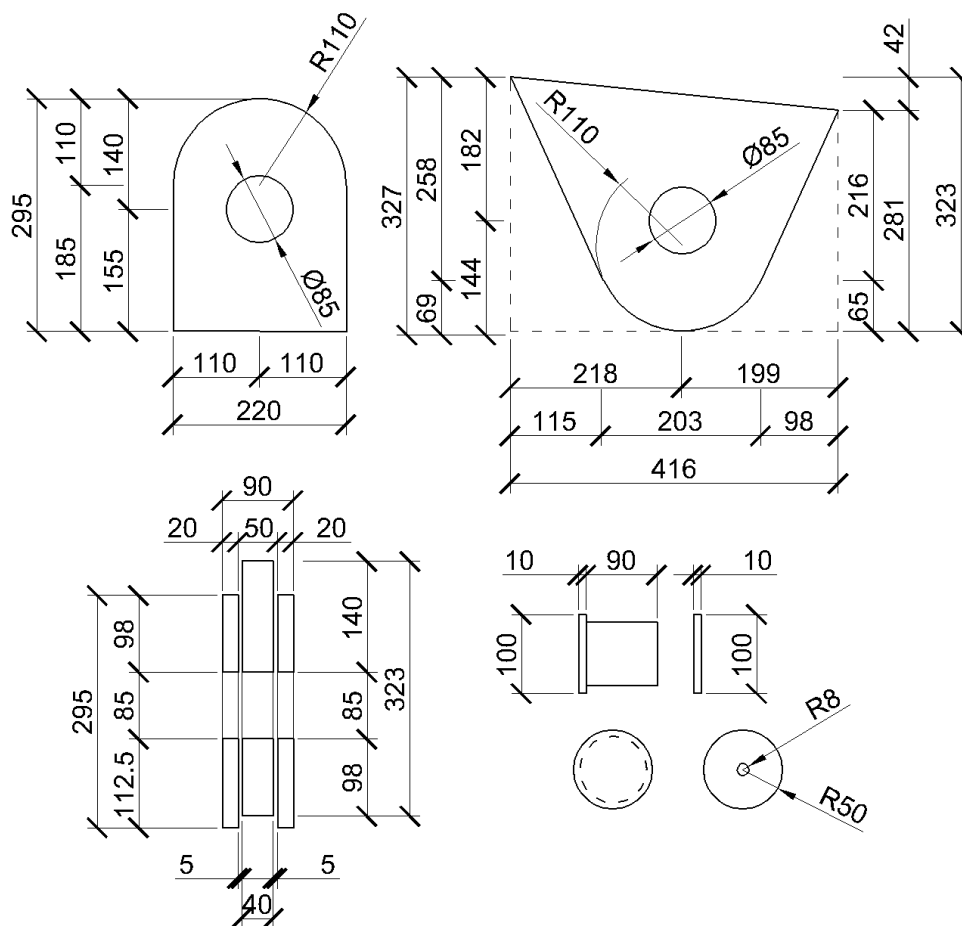
Materiálové vlastnosti:

Ocel S355 :

– mez kluzu	$f_y = 355$	MPa
	$f_y = 335$	MPa (tl. >40 mm)
– mez pevnosti	$f_u = 490$	MPa
	$f_u = 470$	MPa (tl. >40 mm)
– modul pružnosti	$E = 210\,000$	MPa
– modul pružnosti ve smyku	$G = 81\,000$	MPa
– objemová hmotnost	$\rho = 7850$	$\text{kg/m}^3$
– poměr	$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \varepsilon = 0,81$	
– součinitele	$\gamma_{M0} = 1,00$	
	$\gamma_{M1} = 1,00$	
	$\gamma_{M2} = 1,25$	

Geometrie čepového spoje:

- Čep	$d = 80$	mm
	$d_0 = 85$	mm
	$L = 110$	mm
	$d_{hlavy} = 100$	mm
- Plechy spoje	$t_{p1} = 20$	mm
	$t_{p2} = 40$	mm



Obr. 9 Geometrie čepového spoje

- Únosnost čepu ve střihu

$$A = 5027 \quad \text{mm}^2$$

$$f_u = 470 \quad \text{MPa}$$

$$n = 2 \quad (\text{počet stříhových ploch})$$

$$F_{v,Rd} = 0,6nA f_u / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot 2 \cdot 5027 \cdot 470 / 1,25 = 2268,182 \text{ kN}$$

$$< F_{Ed} = 1429,156 \text{ kN (63\%)} \\ \text{VYHOVÍ}$$

- Únosnost plechu a čepu v otláčení

$$F_{b,Rd} = 1,5 t d f_y / \gamma_{M0} = 1,5 \cdot 40 \cdot 80 \cdot 335 / 1,0 = 1608,000 \text{ kN}$$

$$< F_{Ed} = 1429,156 \text{ kN (89\%)} \\ \text{VYHOVÍ}$$

- Únosnost čepu v ohybu

$M_{Ed}$ : dle ČSN EN 1993-1-8; str. 40; obr. 3.11

$$a = 20 \quad \text{mm}$$

$$b = 40 \quad \text{mm}$$

$$c = 5 \quad \text{mm}$$

$$M_{Ed} = F_{Ed} \cdot (b + 4c + 2a) / 8 = 1429,156 \cdot (40 + 4 \cdot 5 + 2 \cdot 20) / 8000 = 17,864 \text{ kNm}$$

$$W_{el} = \pi d^3 / 32 = \pi \cdot 80^3 / 32 = 50265,48 \text{ mm}^3$$

$$f_{yp} = 335 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = 1,5W_{el}f_{yp}/\gamma_{M0} = 1,5 \cdot 50265,48 \cdot 335 / 1,0 = 25,258 \text{ kNm}$$

$$< M_{Ed} = 17,864 \text{ kN (71\%)} \\ \text{VYHOVÍ}$$

- Únosnost čepu při kombinaci střihu a ohybu

$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

$$\left[ \frac{17,864}{25,258} \right]^2 + \left[ \frac{1429,140}{2268,182} \right]^2 \leq 1,0$$

$$0,457 + 0,397 = 0,854 < 1,0 \quad (86\%)$$

Navržený čep a plechy čepového spoje vyhoví na dané namáhání při dodržení dané geometrie čepového spoje. Čep bude, proti vytažení, zajištěn hlavou připojenou šroubem M16. Pro tento šroub bude v hlavě vyvrtána díra průměru 16 mm a v čepu vytvořen závit pro daný šroub.

#### 4.2.2. NÁVRH A POSOUZENÍ TUPÉHO SVARU PŘIPOJENÍ PLECHU

Svar bude navržen na tahovou sílu v přípoji. Předpokládá se, že tlaková síla bude přenesena kontaktem a v tomto případě bude svar pouze držet spoj na svém místě.

A) Připojení plechu tl. 40 mm:

Vzhledem k tloušťce plechu  $t = 40 \text{ mm}$  se jedná o tupý svar pouze s částečným provařením. Materiál svaru je brán jako S235, protože zde dochází ke spojení prvků z ocelí S355 a S235.

Délka svaru	$L = 422 - 2a = 422 - 2 \cdot 6 = 406 \text{ mm}$
Účinná výška svaru	$a = 6 \text{ mm (} t > 31 \text{ mm)}$
Počet svarů	$n = 2$
Součinitel korelace	$\beta = 0,8 \text{ (pro S235)}$
Plocha přenášející napětí	$A_w = n \cdot L \cdot a = 2 \cdot 410 \cdot 6 = 4920 \text{ mm}^2$

Nejnepříznivější kombinace namáhání:

$F_{v,Ed,z} = +$	892,91	kN
$F_{v,Ed,x} = -$	6,82	kN
$F_{v,Ed,y} = +$	1,45	kN

Napětí od  $F_{v,Ed,z}$ :

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \cos 45^\circ \cdot F_{v,Ed,z} / A_w = \cos 45^\circ \cdot 892,91 / 4920 = 128,330 \text{ MPa}$$

Napětí od  $F_{v,Ed,x}$ :

$$\sigma_{\parallel} = F_{v,Ed,x} / A_w = 6,82 / 4920 = 1,387 \text{ MPa}$$

Napětí od  $F_{v,Ed,y}$ :

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \cos 45^\circ \cdot F_{v,Ed,y} / A_w = \cos 45^\circ \cdot 1,45 / 4920 = 0,209 \text{ MPa}$$

celkové napětí:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 128,330 + 0,209 = 128,539 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\parallel} = 1,387 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{128,539^2 + 3 \cdot 128,539^2 + 3 \cdot 1,387^2} =$$

$$= 257,088 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa (72\%)} \\ \text{VYHOVÍ}$$

## B) Připojení plechů tl. 20 mm:

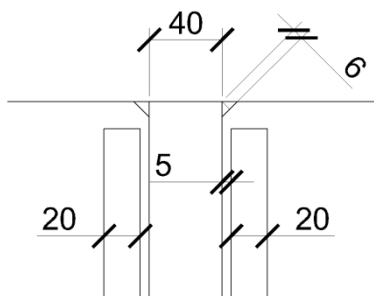
Délka svaru	$L = 220 - 2a = 220 - 2 \cdot 5 = 210 \text{ mm}$
Účinná výška svaru	$a = 5 \text{ mm}$
Počet svarů	$n = 4$
Součinitel korelace	$\beta = 0,9$ (pro S355)
Plocha přenášející napětí	$A_w = n \cdot L \cdot a = 4 \cdot 210 \cdot 5 = 4200 \text{ mm}^2$

Nejnepříznivější kombinace namáhání:

$$F_{v,Ed,z} = -866,33 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,x} = -110,88 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,y} = 4,47 \text{ kN}$$

Napětí od  $F_{v,Ed,z}$ :

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \cos 45^\circ \cdot F_{v,Ed,z} / A_w = \cos 45^\circ \cdot 866,33 / 4200 = 150,329 \text{ MPa}$$

Napětí od  $F_{v,Ed,x}$ :

$$\sigma_{II} = F_{v,Ed,x} / A_w = 110,88 / 4200 = 1,624 \text{ MPa}$$

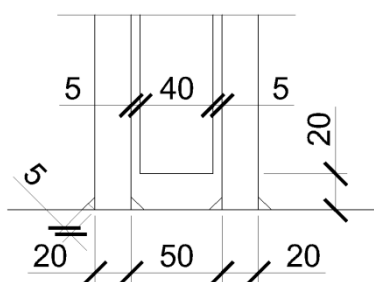
Napětí od  $F_{v,Ed,y}$ :

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \cos 45^\circ \cdot F_{v,Ed,y} / A_w = \cos 45^\circ \cdot 4,47 / 4200 = 0,244 \text{ MPa}$$

celkové napětí:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 150,329 + 0,244 = 150,573 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{II} = 1,624 \text{ MPa}$$



$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{II}^2} = \sqrt{150,573^2 + 3 \cdot 150,573^2 + 3 \cdot 1,624^2} =$$

$$= 301,038 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,556 \text{ MPa (70\%)}$$

VYHOVÍ

Navržené svary vyhoví na dané namáhání. Stejným svarem bude připojena spodní část čepového spoje na podpůrný sloup.

Obr. 10 Schéma umístění svarů

### 4.3. ČEPOVÝ PŘÍPOJ HLAVNÍHO NOSNÍKU K ŽB KONSTRUKCI

$$F_{v,Ed,z,max} = -888,620 \quad \text{kN}$$

$$F_{v,Ed,x,max} = -110,88 \quad \text{kN}$$

Nejnepříznivější kombinace

$$F_{v,Ed,z} = -866,33 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,x} = -110,88 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = -891,20 \text{ kN} \quad (\text{Výslednice sil})$$

$$N_{Ed} = 10,0 \text{ kN} \quad (\text{Síla na vytažení čepu})$$

#### 4.3.1. NÁVRH A POSOUZENÍ ČEPU

Materiálové vlastnosti:

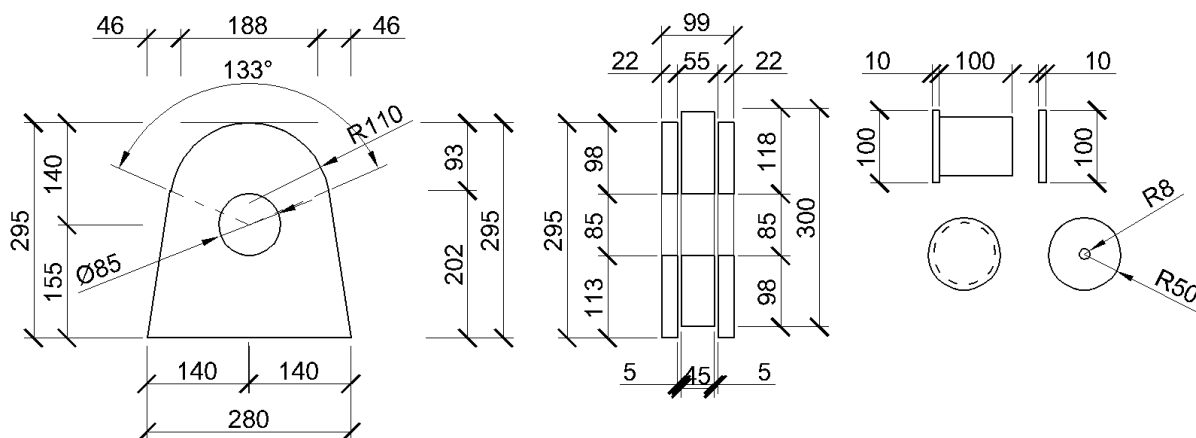
Ocel S235 :

- mez kluzu  $f_y = 235 \text{ MPa}$   
 $f_y = 215 \text{ MPa}$  (tl. >40 mm)
- mez pevnosti  $f_u = 360 \text{ MPa}$   
 $f_u = 360 \text{ MPa}$  (tl. >40 mm)
- modul pružnosti  $E = 210\,000 \text{ MPa}$
- modul pružnosti ve smyku  $G = 81\,000 \text{ MPa}$
- objemová hmotnost  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
- poměr  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \varepsilon = 1,0$
- součinitele  $\gamma_{M0} = 1,00$   
 $\gamma_{M1} = 1,00$   
 $\gamma_{M2} = 1,25$

Geometrie čepového spoje:

- Čep  $d = 80 \text{ mm}$   
 $d_0 = 85 \text{ mm}$   
 $L = 110 \text{ mm}$   
 $d_{hlavy} = 100 \text{ mm}$
- Plechy spoje  $t_{p1} = 22 \text{ mm}$   
 $t_{p2} = 45 \text{ mm}$

Geometrie a tloušťka plechů je navržena podle podmínek v ČSN EN 1993-1-8; str. 39; Tabulka 3.9



Obr. 11 Geometrie čepového spoje



Posouzení čepového spoje:

- Únosnost čepu ve střihu

$$\begin{aligned} A &= 5027 \quad \text{mm}^2 \\ f_u &= 360 \quad \text{MPa} \\ n &= 2 \quad (\text{počet střihových ploch}) \end{aligned}$$

$$F_{v,Rd} = 0,6nA_f u / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot 2 \cdot 5027 \cdot 360 / 1,25 = 1737,175 \text{ kN}$$
$$< F_{Ed} = 891,200 \text{ kN (51\%)} \\ \text{VYHOVÍ}$$

- Únosnost plechu a čepu v otláčení

$$F_{b,Rd} = 1,5t d f_y / \gamma_{M0} = 1,5 \cdot 45 \cdot 80 \cdot 215 / 1,0 = 1135,200 \text{ kN}$$
$$< F_{Ed} = 891,200 \text{ kN (79\%)} \\ \text{VYHOVÍ}$$

- Únosnost čepu v ohybu

 $M_{Ed}$ : dle ČSN EN 1993-1-8; str. 40; obr. 3.11

$$\begin{aligned} a &= 22 \quad \text{mm} \\ b &= 45 \quad \text{mm} \\ c &= 5 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

$$M_{Ed} = F_{Ed} \cdot (b + 4c + 2a) / 8 = 891,200 \cdot (45 + 4 \cdot 5 + 2 \cdot 22) / 8000 = 12,143 \text{ kNm}$$

$$W_{el} = \pi d^3 / 32 = \pi \cdot 80^3 / 32 = 50265,48 \text{ mm}^3$$
$$f_{yp} = 235 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = 1,5W_{el} f_{yp} / \gamma_{M0} = 1,5 \cdot 50265,48 \cdot 235 / 1,0 = 17,719 \text{ kNm}$$
$$< M_{Ed} = 12,143 \text{ kN (69\%)} \\ \text{VYHOVÍ}$$

- Únosnost čepu při kombinaci střihu a ohybu

$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$
$$\left[ \frac{12,143}{17,719} \right]^2 + \left[ \frac{891,200}{1737,175} \right]^2 \leq 1,0$$
$$0,470 + 0,263 = 0,733 < 1,0 \quad (74\%)$$

Navržený čep a plechy čepového spoje vyhoví na dané namáhání při dodržení dané geometrie čepového spoje. Čep bude, proti vytažení, zajištěn hlavou připojenou šroubem M16. Pro tento šroub bude v hlavě vyvrtána díra průměru 16 mm a v čepu vytvořen závit pro daný šroub.

#### 4.3.2. NÁVRH A POSOUZENÍ TUPÉHO SVARU PŘIPOJENÍ PLECHU

A) Připojení plechu tl. 45 mm:

Vzhledem k tloušťce plechu  $t = 45 \text{ mm}$  se jedná o tupý svar pouze s částečným provařením.

Délka svaru	$L = 280 - 2a = 280 - 2 \cdot 10 = 260 \text{ mm}$
Účinná výška svaru	$a = 10 \text{ mm (} t > 31 \text{ mm)}$
Počet svarů	$n = 2$
Součinitel korelace	$\beta = 0,8 \text{ (pro S235)}$
Plocha přenášející napětí	$A_w = n \cdot L \cdot a = 2 \cdot 260 \cdot 10 = 5200 \text{ mm}^2$

Nejnepříznivější kombinace namáhání:

$$F_{v,Ed,z} = -866,33 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,x} = -110,88 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,y} = 4,47 \text{ kN}$$

Napětí od  $F_{v,Ed,z}$ :

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \cos 45^\circ F_{v,Ed,z} / A_w = \cos 45^\circ 866,330 / 5200 = 117,806 \text{ MPa}$$

Napětí od  $F_{v,Ed,x}$ :

$$\sigma_{\parallel} = F_{v,Ed,x} / A_w = 110,88 / 5200 = 21,323 \text{ MPa}$$

Napětí od  $F_{v,Ed,y}$ :

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \cos 45^\circ F_{v,Ed,y} / A_w = \cos 45^\circ 4,47 / 5200 = 0,608 \text{ MPa}$$

celkové napětí:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 117,806 + 0,608 = 118,414 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\parallel} = 21,323 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{118,414^2 + 3 * 118,414^2 + 3 * 21,323^2} =$$

$$= 239,690 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \text{ (67\%)}$$

VYHOVÍ

B) Připojení plechů tl. 22 mm:

Délka svaru	$L = 280 - 2a = 280 - 2 * 5 = 270 \text{ mm}$
Účinná výška svaru	$a = 5 \text{ mm} (= a_{\min} \text{ pro plech tl. } > 21 \text{ mm})$
Počet svarů	$n = 4$
Součinitel korelace	$\beta = 0,8 \text{ (pro S235)}$
Plocha přenášející napětí	$A_w = n * L * a = 4 * 270 * 5 = 5400 \text{ mm}^2$

Nejnepříznivější kombinace namáhání:

$$F_{v,Ed,z} = -866,33 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,x} = -110,88 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,y} = 4,47 \text{ kN}$$

Napětí od  $F_{v,Ed,z}$ :

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \cos 45^\circ F_{v,Ed,z} / A_w = \cos 45^\circ 866,330 / 5400 = 113,443 \text{ MPa}$$

Napětí od  $F_{v,Ed,x}$ :

$$\sigma_{\parallel} = F_{v,Ed,x} / A_w = 110,88 / 5400 = 20,534 \text{ MPa}$$

Napětí od  $F_{v,Ed,y}$ :

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \cos 45^\circ F_{v,Ed,y} / A_w = \cos 45^\circ 4,47 / 5400 = 0,586 \text{ MPa}$$

celkové napětí:

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 113,443 + 0,586 = 114,029 \text{ MPa}$$

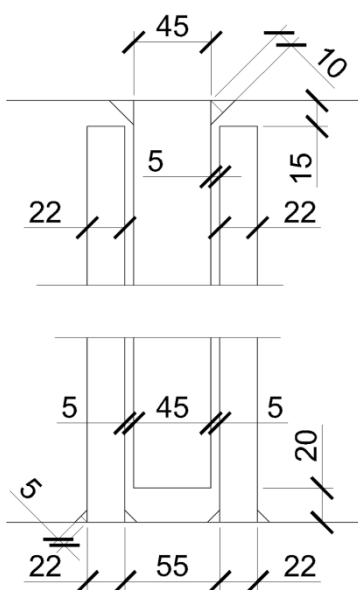
$$\sigma_{\parallel} = 20,534 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{114,029^2 + 3 * 114,029^2 + 3 * 20,534^2} =$$

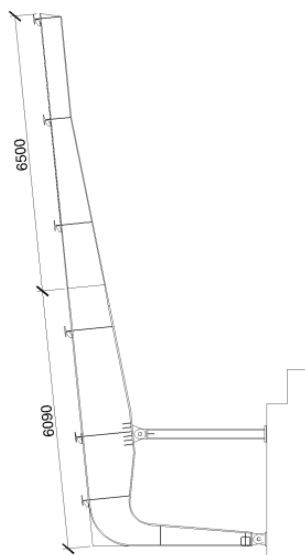
$$= 230,813 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \text{ (65\%)}$$

VYHOVÍ

Navržené svary vyhoví na dané namáhání.



Obr. 12 Schéma umístění svarů



Obr. 13 Náčrtek místa rozdělení hlavního nosníku

#### 4.4. NÁVRH MONTÁŽNÍHO SPOJE HLAVNÍHO NOSNÍKU

Montážní spoj hlavního nosníku je navržen pro usnadnění přepravy hlavního nosníku z výroby. Spoj se nachází na hlavním nosníku v poli 3. Spoj je proveden jako přesný, aby bylo co nejvíce zabráněno možnému zvětšení svislé deformace hlavního nosníku.

Rozdělení momentu do stojiny a pásnice:

$$\begin{aligned} M_{y,Ed} &= - 826,67 \text{ kN} & I_{y,celkové} &= 2,698 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 \\ M_{y,Ed,pásnice} &= - 664,278 \text{ kN} & I_{y,pásnice} &= 2,168 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 \\ M_{y,Ed,stojina} &= - 162,392 \text{ kN} & I_{y,stojina} &= 0,530 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$N_{Ed,max} = - 68,35 \text{ kN} \quad (\text{Přenesou pásnice})$$

$$V_{z,Ed,max} = - 284,50 \text{ kN} \quad (\text{Přenesou stojina})$$

##### 4.4.1. NÁVRH A POSOUZENÍ PŘÍLOŽEK A ŠROUBOVÉHO SPOJE PÁSNIC

$$F_{Ed} = N_{Ed,max} + N_{M,Ed} = 68,35 + 664,278/0,88 = 823,211 \text{ kN}$$

– šroub M16, 8.8:

- $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$
- $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$
- $d_0 = 16 \text{ mm}$
- $A_S = 157 \text{ mm}^2$

– Únosnost ve střihu:

- $\alpha_v = 0,6$
- $\gamma_{M2} = 1,25$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 157}{1,25} = 60,280 \text{ kN}$$

$$n = F_{Ed}/F_{v,Rd} = 823,211/60,280 = 13,656 \Rightarrow 14 \text{ smykových ploch} \\ \Rightarrow 8 \text{ šroubů šrouby}$$

$$F_{v,Rd} = 964,48 \text{ kN} > N_{Ed} = 823,211 \text{ kN} \quad (85\%)$$

– Únosnost v otlacení:

- $p_1 = 60,0 \text{ mm}; e_1 = 40 \text{ mm}; e_2 = 60 \text{ mm};$
- $d_0 = 16 \text{ mm}; d = 16 \text{ mm}$
- $t = 20 \text{ mm}$
- $f_u = 360 \text{ MPa}$
- $\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1,0) = \min(1,0; 1,633; 1,0) = 1,0$
- $\alpha_d = \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25) = \min(1,25; 1,0) = 1,0$
- $k_1 = \min(2,8 \frac{e_2}{d_0}; 1,7; 2,5) = \min(5,3; 2,5) = 2,5$

$$F_{b,Rd} = \frac{n \alpha_b k_1 f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{8 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 20}{1,25} = 1843,200 \text{ kN} > N_{Ed} = 823,211 \text{ kN} \\ \text{VYHOVÍ (45\%)}$$

– Únosnost oslabeného průřezu příložky

$$A = 280 \cdot 12 + 2 \cdot 120 \cdot 12 = 6240 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = A - 4 \cdot 12 \cdot 16 = 5472 \text{ mm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = A f_y / \gamma_{M0} = 6240 \cdot 235 / 1,0 = 1466,400 \text{ kN} > N_{Ed} = 823,211 \text{ kN} \quad (57\%)$$

Oslabený průřez:

$$N_{u,Rd} = 0,9 A_{net} f_u / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 5472 \cdot 360 / 1,25 = 1418,343 \text{ kN} \\ > F_{Ed} = 823,211 \text{ kN} \quad (58\%)$$

- Únosnost oslabené pásnice

$$A_{\text{net}} = 280 \cdot 20 - 2 \cdot 16 \cdot 20 = 4960 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 A_{\text{net}} f_u / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 4960 \cdot 360 / 1,25 = 1285,632 \text{ kN}$$

$$> F_{Ed} = 823,211 \text{ kN} \quad (64\%)$$

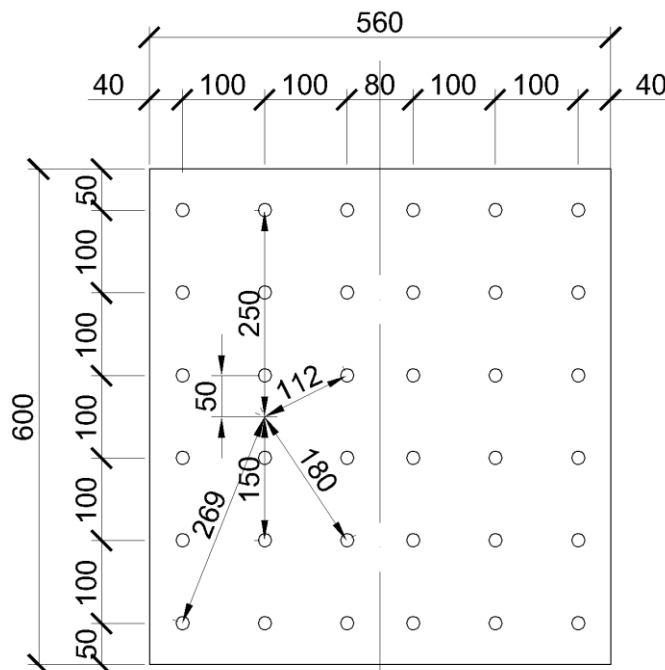
Navržené příložky, šrouby a oslabené průřezy vyhoví na dané namáhání montážního spoje.

#### 4.4.2. NÁVH A POSOUZENÍ PŘÍLOŽEK A ŠROUBOVÉHO SPOJE STOJINY

$$V_{z,Ed,max} = -284,50 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,stožina} = -162,392 \text{ kN}$$

- Návrh geometrie příložky



Obr. 14 Schéma příložky stojiny

Výpočet namáhání v nejvíce zatíženém šroubu:

$$F_{1,M,max} = \frac{M_{y,Ed,stožina} \cdot r_{max}}{\sum r^2}$$

$$= \frac{162,392 \cdot 10^3 \cdot 269}{2 \cdot 50^5 + 2 \cdot 150^2 + 2 \cdot 250^2 + 4 \cdot 112^2 + 4 \cdot 180^2 + 4 \cdot 269^2}$$

$$= 67,809 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{z,Ed,max} / n = 284,50 / 15 = 18,967$$

Výslednice:

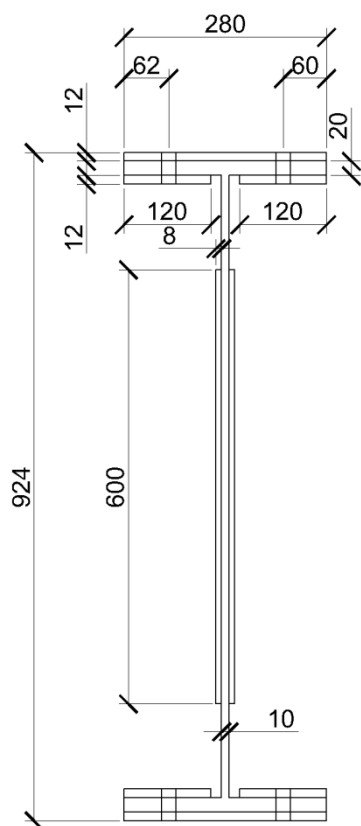
$$R_{Ed} = \sqrt{67,809^2 + 18,967^2} = 70,411 \text{ kN}$$

- šroub M16, 8.8:

- $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$
- $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$
- $d_0 = 16 \text{ mm}$
- $A_S = 157 \text{ mm}^2$

- Únosnost ve střihu:

- $\alpha_v = 0,6$
- $\gamma_{M2} = 1,25$



$$F_{v,Rd} = \frac{2\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{2 * 0,6 * 800 * 157}{1,25} = 120,560 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 120,560 \text{ kN} > N_{Ed} = 70,411 \text{ kN} \text{ (59\%)}$$

– Únosnost v otláčení:

- $p_1 = 100,0 \text{ mm}; e_1 = 40 \text{ mm}; e_2 = 50 \text{ mm};$
- $d_0 = 16 \text{ mm}; d = 16 \text{ mm}$
- $t = 10 \text{ mm}$
- $f_u = 360 \text{ MPa}$
- $\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1,0) = \min(0,833; 1,633; 1,0) = 1,0$
- $\alpha_d = \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25) = \min(0,833; 1,833) = 0,833$
- $k_1 = \min(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5) = \min(5,3; 2,5) = 2,5$

$$F_{b,Rd} = \frac{n\alpha_b k_1 f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{0,833 * 2,5 * 360 * 16 * 10}{1,25} = 95,962 \text{ kN} > N_{Ed} = 70,411 \text{ kN}$$

VYHOVÍ (74%)

– Kontrola velikosti momentu setrvačnosti příložek

$$I_{y,příložek} > I_{y,profilu} = 2,698 * 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_{y,příložek} = 2,721 * 10^9 \text{ mm}^4$$

VYHOVÍ

Obr. 15 Řez montážním spojem

## 5. KOTVENÍ KONSTRUKCE K ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCI TRIBUNY

### 5.1. KOTVENÍ ČEPOVÉHO SPOJE

Kotvení je navrženo jako kloubové.

Materiálové vlastnosti:

Ocel S235 :

- mez kluzu  $f_y = 235$  MPa
- $f_y = 215$  MPa (tl. >40 mm)
- mez pevnosti  $f_u = 360$  MPa
- $f_u = 360$  MPa (tl. >40 mm)
- modul pružnosti  $E = 210\,000$  MPa
- modul pružnosti ve smyku  $G = 81\,000$  MPa
- objemová hmotnost  $\rho = 7850$  kg/m<sup>3</sup>
- poměr  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \varepsilon = 1,0$
- součinitele  $\gamma_{M0} = 1,00$   
 $\gamma_{M1} = 1,00$   
 $\gamma_{M2} = 1,25$

Beton C20/25:

- $f_{ck} = 20,0$  MPa
- $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_M = 20 / 1,5 = 13,333$  MPa
- $f_{ctm} = 2,2$  MPa
- $E_{cm} = 30,0$  GPa

Nejnepříznivější kombinace namáhání podpoře (reakce):

KOMBINACE	$R_x$ [kN]	$R_y$ [kN]	$R_z$ [kN]
CO0/4	110,88	<b>-4,47</b>	866,33
CO0/1	67,53	4,01	<b>888,62</b>
CO0/2	<b>-117,12</b>	2,22	<b>-617,74</b>

#### 5.1.1. POSOUZENÍ PATNÍHO PLECHU NA TLAK

Geometrie uložení:

Ocel. deska

$a = 350$  mm

$b = 330$  mm

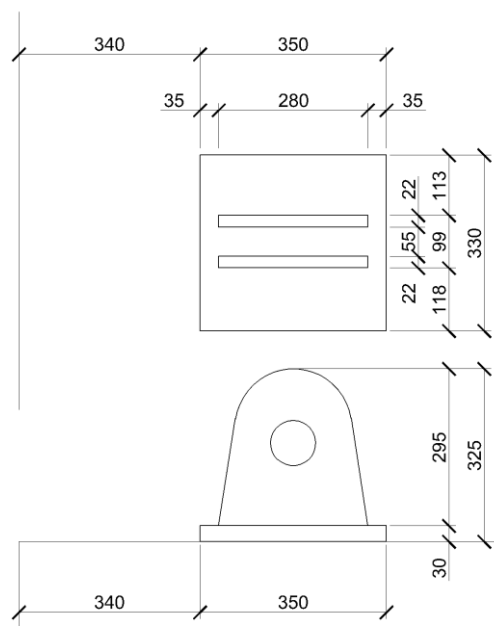
$t_p = 30$  mm

Beton. deska

$a_c = 1030$  mm

$b_c = 7900$  mm

$h = 800$  mm



Obr. 16 Geometrie uložení a umístění v konstrukci

Výška podlití  $>0,1 \cdot \min(a,b) > 35 \text{ mm} \Rightarrow$  podlití 40 mm

$$a_1 = \min(a_c; 3a; a+h) = \min(1030; 1050; 1150) = 1030 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(b_c; 3b; b+h) = \min(7900; 990; 1130) = 990 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{(a_1 \cdot b_1) / (a \cdot b)} = \sqrt{(1030 \cdot 990) / (350 \cdot 330)} = 2,97$$

Návrhová pevnost betonu:

$$f_{jd} = 2/3 \cdot k_j \cdot f_{cd} = 2/3 \cdot 2,97 \cdot 13,333 = 26,399 \text{ MPa}$$

Přesah desky:

$$c = t_p \sqrt{f_{yd} / 3f_{jd}} = 30 \cdot \sqrt{235 / (3 \cdot 26,399)} = 51,677$$

$$A_{\text{eff}} = (99 + 2 \cdot 52) \cdot 350 = 71050 \text{ mm}^2$$

Únosnost betonu:

$$N_{Rd} = A_{\text{eff}} \cdot f_{jd} = 71050 \cdot 26,399 = 1875,648 \text{ kN} > N_{c,Ed,max} = 617,74 \text{ kN}$$

VYHOVÍ (33%)

Únosnost ve smyku:

Kotvení je hlavně taženo, kotevní šrouby budou přenášet také smykové napětí

#### 5.1.2. NÁVRH A POSOUZENÍ KOTEVNÍCH ŠROUBŮ NA TAH A SMYK

Kotevní šrouby jsou navrženy jako předem zabetonované šrouby s kotevní hlavou, vlastnosti převzaty ze skript Kovové konstrukce – konstrukce průmyslových budov, Doc. Ing. Jindřich Melcher, CSc., Ing. Bohumil Straka [2].

$$N_{Ed,max} = 888,620 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed,max} = 111,00 \text{ kN (výslednice maximálních posouvajících sil v tahu)}$$

Navrženy 4 šrouby M48x3, 11 523. 1 (dle ČSN EN 10027-2 se jedná o 1.0570), předem zabetonované, s kotevní hlavou:

$$\text{Plocha jádra: } A = 1604 \text{ mm}^2$$

$$\text{Výpočtová únosnost: } N_{Rd} = 359,2 \text{ kN}$$

Vlastnosti oceli:

$$f_u = 450 \text{ MPa}$$

$$f_y = 275 \text{ MPa}$$

– Posouzení na tah:

$$F_{t,Rd} = n \cdot N_{Rd} = 4 \cdot 359,2 = 1436,8 \text{ kN} < 888,62 \text{ kN (62\%)}$$

– Únosnost ve stříhu:

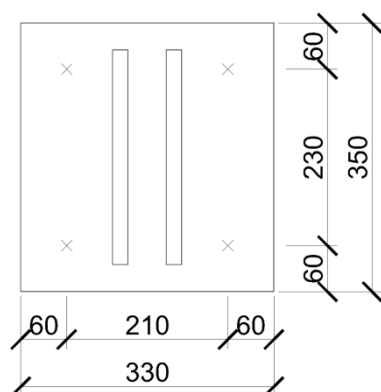
$$\alpha_v = 0,5$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{1,v,Rd} = \frac{n \alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 450 \cdot 1604}{1,25} = 1154,880 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{111,000}{1154,880} = 0,096 < 1,0$$

VYHOVÍ (10%)



Obr. 17 Umístění šroubů

- Únosnost v otláčení:
  - $e_1 = 60 \text{ mm}$ ;  $e_2 = 60 \text{ mm}$ ;  $p_1 = 210 \text{ mm}$
  - $d_0 = 50 \text{ mm}$ ;  $d = 48 \text{ mm}$
  - $t = 30 \text{ mm}$
  - $f_u = 360 \text{ MPa}$
  - $\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1,0) = \min(0,4; 1,25; 1,0) = 0,4$
  - $\alpha_d = \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25) = \min(0,4; 2,083) = 0,4$
  - $k_1 = \min(2,8 \frac{e_2}{d_0}; 1,7; 2,5) = \min(1,66; 2,5) = 1,66$

$$F_{b,Rd} = \frac{n \alpha_b k_1 f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{4 * 0,4 * 1,66 * 360 * 48 * 30}{1,25} = 1101,496 \text{ kN} > N_{Ed} = 111,000 \text{ kN}$$

VYHOVÍ (10%)

- Kombinace střihu a tahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Rd}}{1,4 * F_{t,Rd}} = \frac{111,000}{1154,808} + \frac{888,620}{1,4 * 1436,8} = 0,54 < 1,0$$

VYHOVÍ (54%)

Pozn.: svar plechů čepu s patním plechem je řešen v části 4.3.2.



**5.2. VETKNUTÍ PODPŮRNÉHO SLOUPU**

Materiálové vlastnosti:

Ocel S355 :

- mez kluzu  $f_y = 355$  MPa
- $f_y = 335$  MPa (tl. >40 mm)
- mez pevnosti  $f_u = 490$  MPa
- $f_u = 470$  MPa (tl. >40 mm)
- modul pružnosti  $E = 210\,000$  MPa
- modul pružnosti ve smyku  $G = 81\,000$  MPa
- objemová hmotnost  $\rho = 7850$  kg/m<sup>3</sup>
- poměr  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \varepsilon = 0,81$
- součinitele  $\gamma_{M0} = 1,00$   
 $\gamma_{M1} = 1,00$   
 $\gamma_{M2} = 1,25$

Beton C20/25:  $f_{ck} = 20,0$  MPa  
 $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_M = 20 / 1,5 = 13,333$  MPa  
 $f_{ctm} = 2,2$  MPa  
 $E_{cm} = 30,0$  GPa

Nejnepříznivější kombinace namáhání:

KOMBINACE	$M_y$ [kNm]	$R_z$ [kN]
CO0/5	<b>30,87</b>	-504,89
CO0/2	<b>-27,15</b>	<b>933,31</b>
CO0/1	21,83	<b>-1486,08</b>

 $R_{y,max} = 171,02$  kN $R_{x,max} = 8,24$  kN $F_{v,Ed} = 171,22$  kN (výsledná posouvající síla)

Návrh a posouzení kotevních šroubů na tahovou sílu:

Přídavná síla od momentu:

 $N_{M,Ed,t} = M / r_s = 27,15 / 0,42 = 64,643$  kN $N_{t,Ed} = R_z / 2 + N_{M,Ed} = 933,31 / 2 + 64,643 = 531,298$  kN  
(pro jednu řadu šroubů) $N_{t,Ed,1} = 0,5 \cdot N_{t,Ed} \cdot 1,2 = 318,78$  kN

Navrženy kotevní šrouby- šrouby s kotevní hlavou M48, předem zabetonované, ocel 11523.1 (dle ČSN EN 10027-2 se jedná o 1.0570)

Plocha jádra:  $A = 1604$  mm<sup>2</sup>  
Výpočtová únosnost:  $N_{Rd} = 359,2$  kN

Vlastnosti oceli:  $f_u = 450$  MPa  
 $f_y = 275$  MPa  
=> nutné dva šrouby v řadě

Posudek na tah:

$$\frac{N_{t,Ed,1}}{N_{Rd}} = \frac{318,78}{359,20} = 0,888 < 1,0 \text{ VYHOVÍ (89\%)}$$

## – Únosnost ve střihu:

- $\alpha_v = 0,5$
- $\gamma_{M2} = 1,25$

$$F_{v,Rd} = \frac{n\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{4 * 0,5 * 450 * 1604}{1,25} = 1154,880 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{171,218}{1154,880} = 0,149 < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ (15\%)}$$

## – Únosnost v otláčení:

- $e_1 = 60 \text{ mm}; e_2 = 60 \text{ mm}; p_1 = 100 \text{ mm}$
- $d_0 = 50 \text{ mm}; d = 48 \text{ mm}$
- $t = 30 \text{ mm}$
- $f_u = 490 \text{ MPa}$
- $\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1,0) = \min(0,4; 0,919; 1,0) = 0,4$
- $\alpha_d = \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25) = \min(0,4; 0,42) = 0,4$
- $k_1 = \min(2,8 \frac{e_2}{d_0}; 1,7; 2,5) = \min(1,66; 2,5) = 1,66$

$$F_{b,Rd} = \frac{n\alpha_b k_1 f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{4 * 0,4 * 1,66 * 490 * 48 * 30}{1,25} = 1499,258 \text{ kN} > N_{Ed} = 171,218 \text{ kN}$$

VYHOVÍ (12%)

## – Kombinace střihu a tahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{N_{t,Ed,1}}{1,4 * N_{t,Rd,1}} = \frac{171,218}{1154,880} + \frac{318,78}{1,4 * 359,20} = 0,783 < 1,0$$

VYHOVÍ (79%)

Ve spoji jsou navrženy 4 šrouby M48 ve dvou řadách. Toto uspořádání vyhoví kombinaci, při které vzniká tahové namáhání sloupu.

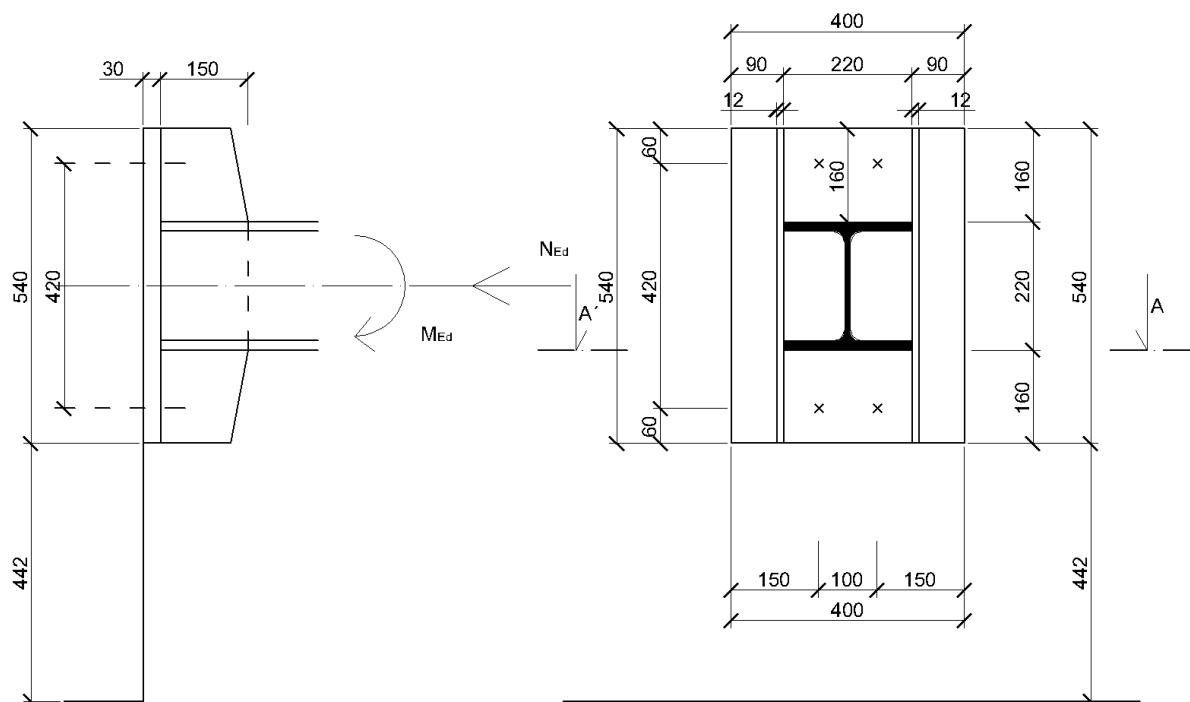
Posouzení na tlakovou sílu:

Kombinace		CO0/5	CO0/1
Zatížení	M [kNm]	30,87	21,83
	N [kN]	-504,89	-1486,08
e= M/N [mm]		61	15
c/d => $\xi$		0,11-> 1,0	0,03-> 1,0
x= $\xi d$		540	540
r= d-a-x/3 [mm]		540-60-540/3= 300	300
e <sub>0</sub> = e+d/2-a [mm]		61+280-60= 281	15+280-60= 235
T <sub>b</sub> = (N <sub>Ed</sub> *e <sub>0</sub> )/r [kN]		-472,914	-1164,096
$\sigma_{c,max}=2T_b/(x*b)$ [MPa]		4,379	5,398
Z= T <sub>b</sub> -N <sub>Ed</sub>		31,976	321,984

$$Z_{Ed,1} = 0,5 * Z_{max} * 1,2 = 0,5 * 321,984 * 1,2 = 193,191 \text{ kN}$$

$$\frac{Z_{Ed,1}}{N_{Rd}} = \frac{193,191}{359,20} = 0,538 < 1,0 \quad \text{VYHOVÍ (54\%)}$$

Navržené šrouby vyhoví na namáhání kombinacemi vyvolujícími tlak v patě sloupu.

**5.2.1. NÁVRH A POSOUZENÍ PATNÍHO PLECHU NA TLAK****Obr. 18 Schéma vetknutí sloupu**

Deska podepřená po třech stranách:

 $a = 220 \text{ mm}$  $b_1 = 160 \text{ mm}$  $m = b_1/a = 160/220 = 0,73 \Rightarrow \beta = 0,088 ; \alpha_4 = 0,726$ 

minimální tloušťka desky:

$$d_{p,min} = \alpha_4 * a * \sqrt{\frac{\sigma_{c,max}}{f_{yd}}} = 0,726 * 220 * \sqrt{\frac{5,398}{355}} = 25,121 \Rightarrow 30 \text{ mm}$$

Minimální tloušťka pro volný přečnívající okraj:

$$d_{p,min} = 1,73 * e * \sqrt{\frac{\sigma_{c,max}}{f_{yd}}} = 1,73 * 78 * \sqrt{\frac{5,398}{355}} = 16,7 \text{ mm} < 30 \text{ mm VYHOVÍ}$$

Výška podlití  $> 0,1 * \min(a,b) > 40 \text{ mm} \Rightarrow$  podlití 40 mm

Byl navržen patní plech tloušťky 30 mm a podlitím 40 mm.

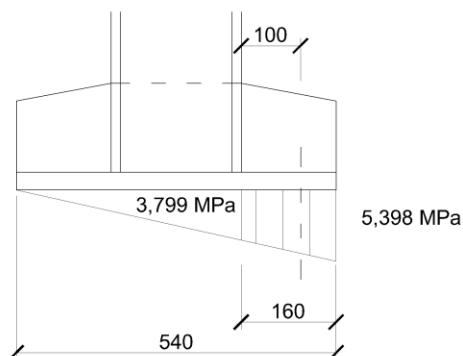
Posouzení průřezu patky:

Síly od reakce betonu:

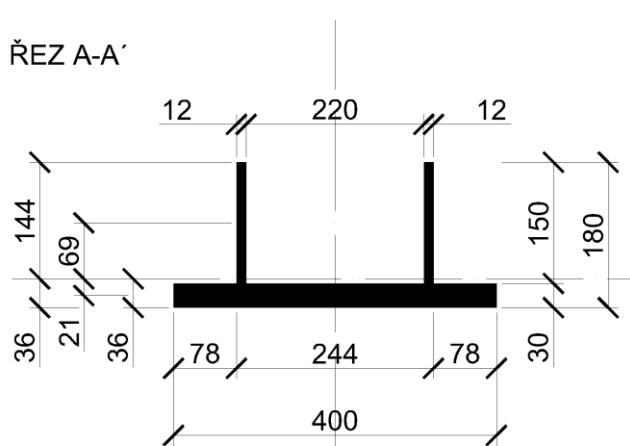
$$M_1 = \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2} d_1 * \frac{d_1}{2} * b_p = \frac{5,398 + 3,799}{2} * 160 * \frac{160}{2} * 400 = 23,545 \text{ kNm}$$

$$V_1 = \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2} d_1 * b_p = \frac{5,398 + 3,799}{2} * 160 * 400 = 294,304 \text{ kN}$$

Síly od tahové síly ve šroubu:

 $Z_{max} = 321,984 \text{ kN}$  $M_1' = Z * r = 321,984 * 0,1 = 32,199 \text{ kNm}$  $V_1 = Z = 321,984 \text{ kN}$ **Obr. 19 Napětí pod patkou**

Vzdorující průřez:



$$\begin{aligned}
 A &= 2 \cdot 12 \cdot 150 + 400 \cdot 30 = 15600 \text{ mm}^2 \\
 I_y &= 3,008 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 \\
 z_h &= 144 \text{ mm} \rightarrow W_h = 2,086 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \\
 z_d &= 36 \text{ mm} \rightarrow W_d = 8,402 \cdot 10^5 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Obr. 20 Schéma vzdorujícího průřezu

Mezní napětí na průřezu od ohybového momentu:

$$\sigma_h = \frac{M_1'}{W_h} = \frac{32,199 \cdot 10^6}{2,086 \cdot 10^5} = 154,358 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa} \text{ VYHOVÍ (44\%)}$$

$$\sigma_d = \frac{M_1'}{W_d} = \frac{32,199 \cdot 10^6}{8,402 \cdot 10^5} = 38,323 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa} \text{ VYHOVÍ (11\%)}$$

Smykové napětí – zjednodušeně uvažujeme, že je smyk přenesen příložkami

$$A_v = 12 \cdot 150 \cdot 2 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{V_1'}{A_v} = \frac{321,984 \cdot 10^3}{3600} = 89,44 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa} \text{ VYHOVÍ (26\%)}$$

Není třeba posuzovat interakci mezi smykem a ohybem, protože únosnost na posouvající sílu není využita nad 50%.

## 6. Seznam použitých symbolů a značek

### 1) Malá písmena latinské abecedy

$a$	účinná výška svaru
$a, b$	rozměry plechu
$d$	průměr šroubu
$d_0$	průměr otvoru pro šroub
$d_m$	průměr matice
$e_1$	vzdálenost osy šroubu od okraje spojovaného plechu ve směru zatížení
$e_2$	vzdálenost osy šroubu od okraje spojovaného plechu kolmo na zatížení
$f_{cd}$	návrhová pevnost v tlaku betonu
$f_{ck}$	charakteristická pevnost v tlaku betonu
$f_u$	mez pevnosti
$f_{ub}$	mez pevnosti šroubu
$f_y$	mez kluzu
$f_{yb}$	mez kluzu šroubu
$k_1$	součinitel pro šroubový spoj, zohledňuje rozměry spoje kolmo na působení zatížení
$n$	počet šroubů/střihových ploch
$p_1$	rozteč šroubů ve směru zatížení
$t$	tloušťka plechu

### 2) Velká písmena latinské abecedy

$A$	plocha
$A_{ef}$	účinná plocha
$B_{p,Rd}$	únosnost šroubu v tahu
$E$	modul pružnosti v tahu, tlaku
$F_{b,Rd}$	únosnost šroubu/čepu v otláčení
$F_{Rd}$	únosnost v tahu/tlaku
$F_{Rd,II}$	únosnost rovnoběžně s plochou svaru
$F_{v,Rd}$	únosnost šroubu/čepu ve smyku
$G$	modul pružnosti ve smyku
$I_y$	moment setrvačnosti k ose y-y
$L$	délka
$N_{Ed}$	návrhová normálová síla
$N_{u,Rd}$	únosnost oslabeného průřezu
$R_{ed}$	výslednice sil
$S_{f,y}$	statický moment pásnice
$W_{el}$	pružnostní modul průřezu

### 3) Písmena řecké abecedy

$\alpha$	úhel
$\alpha_i$	součinitele pro šroubový spoj
$\alpha_v$	redukční součinitel únosnosti ve smyku podle materiálu šroubu
$\beta_{Lw,2}$	redukční součinitel délky svaru
$\beta_w$	korelační součinitel
$Y_{M0}$	dílčí součinitel únosnosti průřezu kterékoli třídy
$Y_{M1}$	dílčí součinitel únosnosti průřezu při posuzování stability prutu
$Y_{M2}$	dílčí součinitel únosnosti průřezu při porušení v tahu
$\varepsilon$	součinitel závisející na $f_y$
$\rho$	objemová hmotnost
$\sigma_{\perp}$	napětí kolmé na účinnou plochu svaru
$\tau_{\perp}$	napětí kolmé na osu svaru ležící v rovině účinné plochy svaru
$\tau_{\parallel}$	napětí rovnoběžné s osou svaru

### 4) Zkratky

ŽB	železobeton
MIN	minimum, minimálně
MAX	maximum, maximálně

## 7. Seznam zdrojů

Normy:

ČSN EN 1990:	Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
ČSN EN 1991-1-1:	Eurokód 1:Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
ČSN EN 1991-1-3:	Eurokód 1:Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
ČSN EN 1991-1-4:	Eurokód 1:Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
ČSN EN 1993-1-1:	Eurokód 3:Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1993-1-8:	Eurokód 3:Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků
ČSN EN ISO 12944-1-8:	Nátěrové hmoty – protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy
ČSN ISO 8501-1-2:	Příprava ocelových povrchů před nanášením nátěrových hmot a obdobných výrobků

Publikace, knihy:

- [1] NEUFERT, Ernst. *Navrhování staveb*. 2. české vydání. Praha: Consult Invest, 2000. ISBN 80-901459-6-6.
- [2] MELCHER, Jindřich. *Kovové konstrukce: konstrukce průmyslových budov*. 5., nezměněno. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985.
- [3] BÍLEK, Jaroslav. *Ocelová konstrukce zastřešení autobusového nádraží*. Brno, 2011. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí bakalářské práce Ing. Václav Röder.

Internetové odkazy:

[www.ferona.cz](http://www.ferona.cz)  
[www.citankaok.wz.cz](http://www.citankaok.wz.cz)  
[www.detailyok.webnode.cz](http://www.detailyok.webnode.cz)